84- 2982 /

LES ÉNERGIES NOUVELLES

Une introduction aux possibilités d'utilisation de ces sources d'énergie par les Québécois

Énergie et Ressources
Québec

Ce document a été réalisé par Bernard Lévy-Bertaut

pour le compte de

la Direction des programmes d'énergies nouvelles

Publié et diffusé par:
Direction des communications
200-8,chemin Sainte-Foy
Québec G1R 4X7
tél:(418) 643-6080

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 1

MAISONS SOLAIRES 3

— SOLAIRE ACTIF 3

- chauffage de l'espace 3
- chauffe-eau solaire 7
- chauffe-piscine solaire 8

— SOLAIRE PASSIF 10

- maisons solaires passives 10
- maisons enfouies 14
- maisons superefficaces 15
- maisons à double enveloppe 16

ÉOLIENNES 17

POMPES À CHALEUR 21

CHAUFFAGE AU BOIS 24

BIOMASSE 26

- bois brut 26
- méthanol 26
- éthanol 27
- méthane 27
- tourbe 27
- déchets urbains 28

AUTRES ÉNERGIES ET TECHNOLOGIES NOUVELLES 29

- centrales solaires 29
- photopiles 29
- petites hydrauliques 29
- énergie des vagues 30
- énergie des marées 30
- géothermie 30
- hydrogène 31
- piles à combustible 31
- chauffage collectif 32
- cogénération 32

CONCLUSION 33

INTRODUCTION

Appelées à jouer un grand rôle au cours du siècle prochain, les énergies nouvelles devraient déjà combler, à la fin du 20e siècle, 5% comptabilisable des besoins énergétiques du Québec. C'est un chiffre modeste en apparence qui exige pourtant de grands efforts de promotion. Il est certes plaisant de s'extasier devant les quantités inépuisables et gratuites d'énergies nouvelles offertes par le généreux cosmos: que ce soit l'énergie solaire avec ses corollaires, l'énergie du vent, des vagues, des chutes d'eau, celle contenue dans les forêts et les algues, ou l'énergie des marées créées par la lune, ou encore l'énergie issue du centre de la terre... Il est cependant plus enrichissant de mieux connaître et maîtriser les outils prévus pour recueillir ces énergies, outils ni gratuits, ni inépuisables. D'autre part, les énergies nouvelles n'ont pas toujours d'avenues évidentes, toutes tracées, et sont parfois encore sujettes à maintes expérimentations et recherches.

Pourtant plusieurs sources sont déjà bien au point et méritent d'être adoptées tout de suite ou dans un avenir proche, en particulier dans les résidences où les usagers profiteraient de substantielles économies d'énergie. Toutefois, gérer sa propre énergie suppose de la part des usagers plus de responsabilité et de conscience des processus techniques dont ils sont maîtres.

Ils devraient en outre savoir effectuer eux-mêmes des choix éclairés, parmi les formes multiples et spécifiques d'énergies nouvelles. Ce document tente, pour ce faire, de leur apporter plusieurs éléments de réponse et brosse un tableau sommaire d'autres énergies et technologies nouvelles qui pourraient jalonner l'avenir énergétique du Québec.

MAISONS SOLAIRES

Il est souvent intéressant de profiter de l'énergie solaire dans les régions habitées du Québec. Le climat hivernal bien que très rigoureux y est souvent ensoleillé, plus par exemple qu'en Europe dans les régions de même latitude.

Cependant, pour jouir de cette énergie gratuite et inépuisable, il existe différents systèmes plus ou moins coûteux et accessibles. Une distinction majeure se fait entre les systèmes solaires actifs, constitués d'éléments mécanisés ajoutés à la maison, et les systèmes solaires passifs qui s'assimilent à l'architecture même des édifices. Le solaire actif sert à chauffer l'espace, l'eau domestique ou les piscines tandis que le solaire passif est sourtout utilisé pour chauffer ou climatiser l'espace et peut revêtir diverses formes architecturales. On retrouve dans tous les systèmes solaires les mêmes éléments de captage, de stockage, de distribution et de contrôle de l'énergie solaire, éléments qui varient qualitativement et quantitativement selon chaque système. Étudions ces systèmes solaires plus en détail à travers les résidences québécoises.

SOLAIRE ACTIF

CHAUFFAGE DE L'ESPACE

Capteur solaire

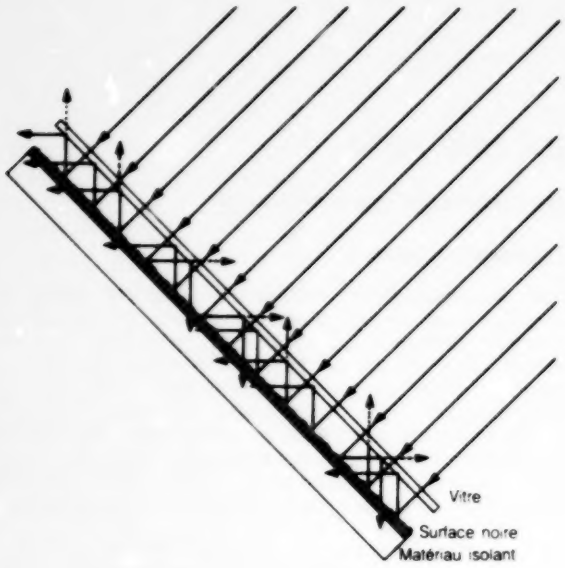
Pièce maîtresse de l'installation, un capteur solaire est constitué d'un vitrage qui recouvre une plaque sombre appelée « absorbeur ». Cette plaque, généralement en métal, est disposée sur un isolant thermique qui évite les pertes d'énergie par l'arrière. L'ensemble est fixé dans un coffre étanche. L'absorbeur exposé au soleil se réchauffe considérablement. Un fluide, de l'air ou de l'eau, traverse cet absorbeur et en récupère la chaleur. Appelé « caloporteur », ce fluide est ensuite véhiculé vers le stockage avant de distribuer sa chaleur dans la maison suivant les besoins.

Les capteurs fonctionnent grâce au double effet de serre et de corps sombre, principes de base de tout système solaire: l'énergie solaire est principalement de l'énergie lumineuse que les corps irradiés absorbent en partie et convertissent en chaleur. C'est donc en absorbant des rayons visibles que l'absorbeur se réchauffe considérablement. Cependant, comme tout corps chaud, l'absorbeur rayonne sa chaleur vers des milieux plus froids (sous forme de rayons infrarouges), chaleur gaspillée s'il n'y avait pas les vitrages pour l'arrêter: ceux-ci ont en effet la propriété de laisser passer les rayons lumineux mais d'arrêter dans l'autre sens les infrarouges. Ainsi l'espace d'air (de 12 cm d'épaisseur environ) entre l'absorbeur et la vitre joue le rôle de protection isolante. Pourquoi utiliser des absorbeurs sombres et en particulier noirs et mats? C'est justement quand un corps peut absorber un maximum de rayons visibles qu'il est sombre et donc vite réchauffé au soleil, à l'inverse des corps clairs, comme la neige, qui en réverbèrent la plus grande partie. Pour le climat du Québec, le double vitrage est souvent requis (avec 1 à 1,5 cm d'espace d'air entre chaque vitre), la vitre externe (d'au moins 4 mm d'épaisseur) étant armée ou trempée. Certains plastiques comme le téflon ou la fibre de verre remplacent parfois le verre. Plus résistants aux chocs et aux intempéries, ces plastiques peuvent néanmoins perdre de leur transparence sous l'effet des ultraviolets. Certains absorbeurs sont recouverts de surfaces sélectives qui minimisent l'émission de chaleur vers l'extérieur et rendent les capteurs plus efficaces. Ceux-ci se contentent en général d'un simple vitrage.

Les capteurs décrits plus haut affectent une forme leur conférant le titre de capteurs plans, qu'ils soient à eau ou à air. Ce sont les plus répandus dans les résidences. Ils captent le rayonnement solaire direct, diffus et celui pouvant être réverbéré par la neige. Il existe une toute autre sorte de capteurs qui fonctionnent par l'effet de concentration: de section parabolique, ces capteurs réfléchissent les rayons directs sur un conduit très mince faisant office

Effet de serre

Les radiations lumineuses traversent la vitre du capteur et sont absorbées par la surface noire. L'énergie, réémise sous forme de chaleur (rayons infrarouges), traverse beaucoup plus difficilement la vitre, de sorte qu'elle est tenue « captive » entre la surface noire et la vitre. Cette chaleur peut être évacuée (par circulation d'air ou d'eau) pour être stockée ailleurs.



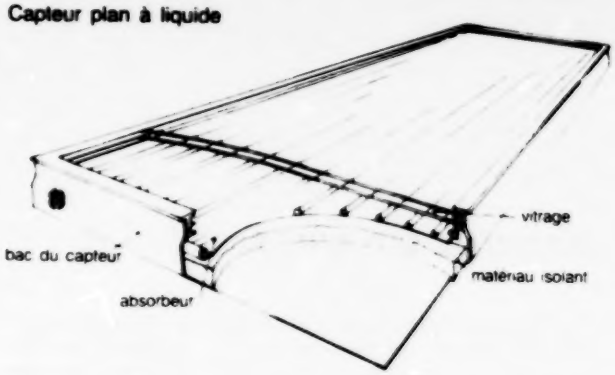
d'absorbeur (placé à la focale de la parabole). Soumis à une forte concentration de rayons solaires, l'absorbeur traversé par un fluide, peut atteindre des températures élevées. Ces capteurs ont une forme linéaire ou circulaire. Peu utilisés dans les résidences, ils sont surtout d'usage industriel. L'effet de concentration peut cependant être employé pour réfléchir davantage de rayons solaires sur les capteurs plans grâce à des réflecteurs faisant office de miroirs.

Enfin, existent des capteurs à tubes sous vide qui profitent de l'effet de serre et de concentration. Conçus un peu comme des bouteilles thermos, ils sont faits de trois tubes emboîtés l'un dans l'autre : le tube interne alimente le capteur, le tube médian sert d'absorbeur et le tube externe sert de vitrage au-dessus et de réflecteur en-dessous. Un vide d'air est créé entre les tubes médian et externe. Coûteux mais très efficaces, les capteurs à tubes sous vide se prêtent bien au chauffage de l'espace des résidences.

L'idéal serait que les capteurs puissent à chaque instant suivre la course du soleil. Mais comme cela nécessite un dispositif très coûteux, une position fixe est choisie de façon optimale :

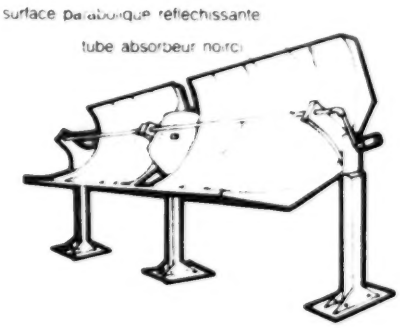
- orientation des capteurs : elle est franc sud jusqu'à ±30° par rapport au sud ;
- inclinaison : afin de bien capter les bas rayons d'hiver, elle est égale à la latitude du lieu plus 15° soit, pour Québec et Montréal, environ 60° sur l'horizontale ;
- emplacement : les capteurs sont le plus souvent fixés sur le toit des édifices, parfois sur la façade ou sur toute surface plane grâce à un support approprié ;

Capteur plan à liquide



- surcharge : selon les cas, les capteurs pèsent de 15 à 45 kg par m² ;
- surface de captage : elle dépend de plusieurs facteurs tels l'ensoleillement sur le site, le rendement des capteurs et la fraction solaire prévue pour combler une partie des besoins. Au Québec, elle varie en général du quart à la moitié de la surface habitable à chauffer ;
- rendement des capteurs : c'est le rapport de l'énergie thermique fournie par le capteur sur l'énergie solaire captée ; c'est-à-dire, comme dans tout calorifère, le rapport de la chaleur fournie sur l'énergie totale utilisée. Par exemple, des capteurs très sophistiqués comme les tubes sous vide ont des rendements moyens de 70% tandis que d'autres capteurs, plus élémentaires, atteignent tout juste des rendements de 20% (comme les capteurs à ruissellement d'eau constitués par une toiture sud en métal sur laquelle s'écoule un film d'eau récupéré par une goutière). De plus, si les capteurs ne répondent pas aux optimums d'inclinaison et d'orientation ou s'ils sont ombragés une partie de la journée, leur rendement va baisser d'autant. Meilleur est leur rendement, moindre est la surface de captage requise.

Capteur parabolique à concentration



Réservoir de stockage

Un réservoir de stockage emmagasine la chaleur du fluide provenant des capteurs. Tout stockage joue l'indispensable rôle de tampon entre les besoins variables des usagers et l'ensoleillement intermittant.

Lorsque le fluide caloporteur est de l'eau, il est facile de stocker celle-ci dans une cuve bien isolée. L'eau est en soi

un très bon accumulateur de chaleur. Mais elle craint le gel : une solution consiste à vidanger les capteurs dès que les températures extérieures descendent sous un certain seuil. Une autre solution, la plus répandue, utilise dans un circuit fermé, du capteur au stockage, un mélange d'eau et d'antigel avec un produit anticorrosif. La chaleur du mélange est transmise à l'eau de la cuve par un échangeur de chaleur qui est un appareil simple permettant des transferts de chaleur d'un fluide à un autre sans contact des fluides entre eux. Enfin, on utilise de plus en plus le fréon comme liquide caloporteur, en raison de sa plus grande efficacité.

Pour les systèmes à air, aucun des problèmes de gel, corrosion ou entartrage ne se posent. Mais l'air est un mauvais accumulateur de chaleur. Un immense local bien isolé serait requis pour stocker tout l'air chaud en provenance des capteurs. C'est pourquoi un intermédiaire est utilisé : un empilement de galets, de roches, de briques ou de bouteilles à eau au travers duquel l'air s'écoule et libère sa chaleur avant de retourner aux capteurs. Cette chaleur est ensuite récupérée par l'air provenant de la maison. Les roches ou galets doivent avoir une taille homogène (de 5 à 10 cm environ). Il existe un autre mode de stockage, par produits à « chaleur latente » comme certains sels hydratés ou de la paraffine. Ces produits ont la propriété d'accumuler beaucoup de chaleur en passant de l'état solide à liquide puis de libérer cette chaleur en retournant à l'état solide. On les appelle aussi : produits à changement de phase. Encore coûteux, leur avantage principal est d'être environ 4 fois moins encombrants qu'un réservoir d'eau, lui-même 3 fois moins volumineux qu'un stockage de roches.

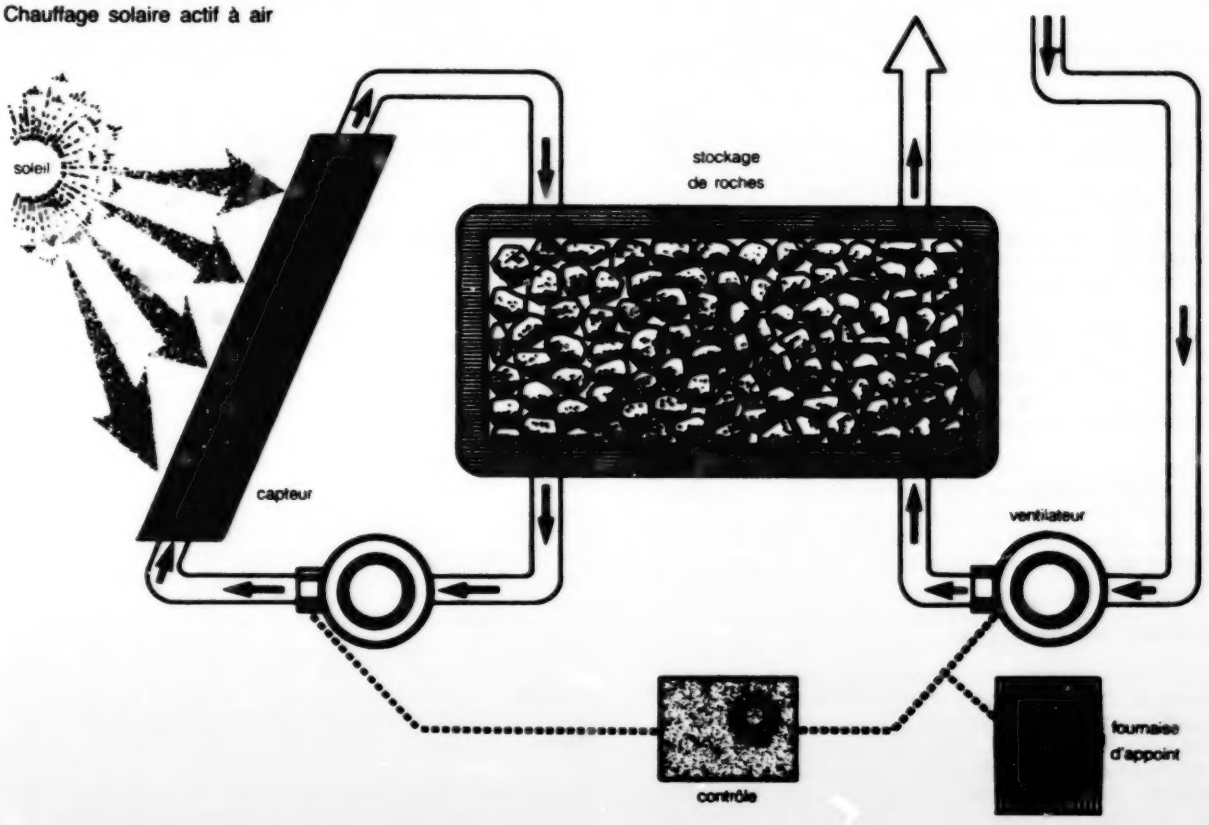
Les réservoirs de stockage sont en général prévus pour subvenir aux besoins durant 2 à 4 journées sans soleil, nécessitant pour une résidence de taille moyenne des volumes de cuve à eau de 2 à 3 m³ (2 à 3000 litres) ou des réservoirs de roches de 5 à 7 m³ (10 à 15 tonnes). Il existe des stockages saisonniers accumulant, au moyen d'immenses réservoirs très bien isolés, la chaleur captée durant tout l'été pour la distribuer en hiver dans la maison. Encore prohibitifs les stockages saisonniers peuvent à l'avenir s'avérer intéressants pour des logements groupés.

Distribution

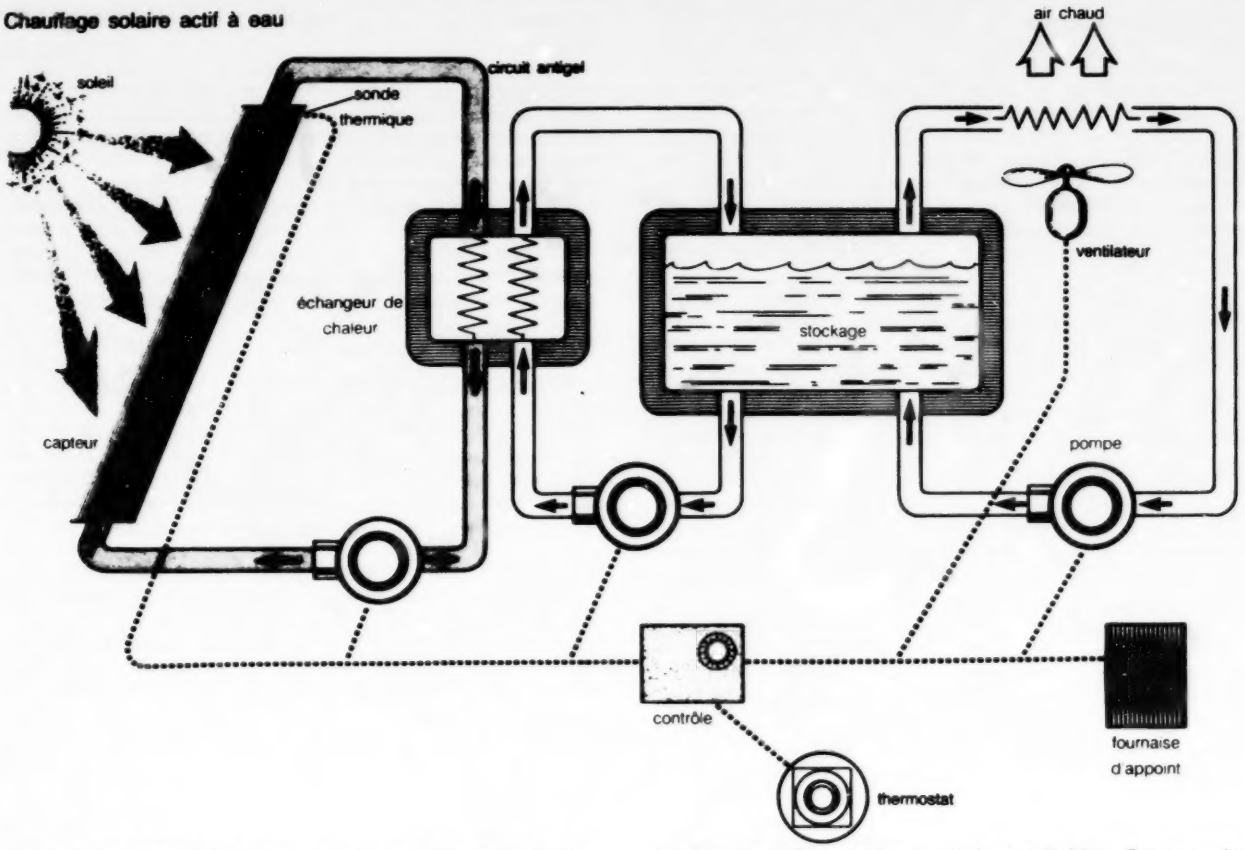
Les températures moyennes atteintes par le fluide caloporteur sont souvent plus basses (30° à 60° C) que celles observées à la sortie des calorifères classiques (60° à 80° C). Aussi dans le cas de l'eau provenant d'une cuve de stockage, faudrait-il employer des radiateurs à surface d'échange beaucoup plus grande que dans les radiateurs à eau classiques. C'est une solution peu employée.

Les planchers ou plafonds radiants conviennent mieux aux basses températures offertes par les chauffages solaires et peuvent utiliser, selon les cas, de l'air ou de l'eau : ils sont constitués d'un réseau de canalisations coulées dans la masse. Traversées par un fluide, ces canalisations réchauffent progressivement les planchers ou les plafonds qui

Chauffage solaire actif à air



Chauffage solaire actif à eau



chauffent à leur tour l'espace par un rayonnement uniforme. Cependant, si les plafonds ou planchers radiants prennent du temps à refroidir, ils sont aussi longs à réchauffer.

La solution la plus employée est la distribution par air pulsé avec de préférence des conduits plus larges que dans les systèmes conventionnels. Mode privilégié de distribution des chauffages solaires à air, l'air pulsé peut aussi convenir aux chauffages solaires à eau: la cuve à eau transfère sa chaleur à l'air répandu dans la maison à l'aide d'un échangeur de chaleur eau-air.

Dans les systèmes à air pulsé classiques, l'alimentation s'effectue en général par le bas et le retour par le haut. Pour un chauffage solaire, l'inverse, alimentation par le haut et retour par le bas, est plus conforme aux températures moyennes atteintes par l'air.

Un chauffage d'appoint doit pouvoir combler la totalité des besoins quand la période sans soleil dépasse les possibilités du stockage. En général, il s'agit de plinthes électriques ou, dans le cas d'un système à air pulsé, d'une puissante résistance électrique logée dans la gaine d'air principale.

Éléments de contrôle

Tous les constituants de l'installation solaire (capteurs, stockage et distribution) sont reliés entre eux par un circuit de tuyauteries pour les systèmes à eau et par un circuit de gaines pour les systèmes à air. Les éléments de contrôle, alimentés en électricité, servent à coordonner les diverses opérations: ouvrir ou fermer les circuits (capteurs — stockage, stockage — distribution), actionner le chauffage d'appoint ou faire varier le débit des fluides. Cerveau du système solaire, ils reçoivent l'information utile provenant de plusieurs thermostats et agissent par des pompes et valves dans les circuits à eau et par des ventilateurs et registres motorisés dans les circuits à air. Les éléments de contrôle sont en général centralisés dans une unité de circulation.

Coût et rentabilité

Les systèmes solaires actifs comblent en moyenne de 40 à 60% des besoins de chauffage des locaux d'une maison correctement isolée et étanche. Il est peu intéressant d'essayer d'en combler davantage: en effet, pour subvenir aux besoins durant les longues périodes sans soleil, un très grand réservoir de stockage, et partant, une surface de capteurs considérable, seraient nécessaires. Alors très coûteuse, l'installation solaire serait le plus souvent surdimensionnée tout en restant vulnérable à d'imprévisibles périodes de mauvais temps exceptionnellement longues. C'est pourquoi un stockage optimal de 2 à 4 jours est généralement prévu, capable de faire face aux successions de journées sans soleil les plus fréquentes. Si la période de mauvais temps s'éternise, le chauffage d'appoint prend la relève.

C'est donc un stockage à court terme qui nécessite une surface de captage en moyenne de ¼ à ½ de la surface habitable à chauffer. Les modes de stockage à long terme, comme les stockages saisonniers, sont prohibitifs pour des résidences isolées.

Que choisir entre les systèmes solaires à eau et ceux à air? Ils coûtent approximativement le même prix et offrent des

rendements globaux à peu près équivalents. Chacun possède des avantages et des inconvénients: ainsi les systèmes à air ignorent les problèmes de gel, de corrosion ou d'entartrage mais sont plus encombrants au niveau du stockage et des gaines d'air. Tandis que les systèmes à eau fonctionnent en consommant moins d'électricité, leur fluide est plus facile à contrôler et leurs capteurs sont souvent plus efficaces que les capteurs à air. Cependant, ils sont plus complexes à construire et possèdent souvent des échangeurs de chaleur qui en abaissent le rendement (par exemple un échangeur eau + antigel – eau dans le réservoir et eau-air dans la distribution). Dans le commerce on retrouve plus souvent des systèmes à eau, tout autant utilisés pour chauffer l'eau domestique. Cependant, les systèmes à air avec des capteurs plus efficaces et des stockages à chaleur latente meilleur marché pourraient à l'avenir s'avérer très attrayants.

Pour une résidence de taille moyenne, correctement isolée et étanche, un système solaire actif pour le chauffage des locaux peut coûter au total de 14 000 $ à 18 000 $. Par exemple, une résidence dans la région de Montréal, de 120 m² de surface habitable, consommant durant la saison de chauffage 20 000 kWh, verra 50% de ses besoins comblés par le chauffage solaire (qui fournira alors 10 000 kWh) avec 30 m² de capteurs ayant un rendement moyen de 50% et avec un stockage de 3 jours. L'investissement est élevé et s'amortit sur une période de 20 ans. Or la durée de vie d'une installation est de 25 ans en moyenne. Donc le chauffage solaire actif de l'espace n'est pas encore une solution bien rentable au Québec.

CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Le chauffe-eau solaire fonctionne exactement comme le système solaire à eau décrit précédemment pour chauffer l'espace, mais en miniature.

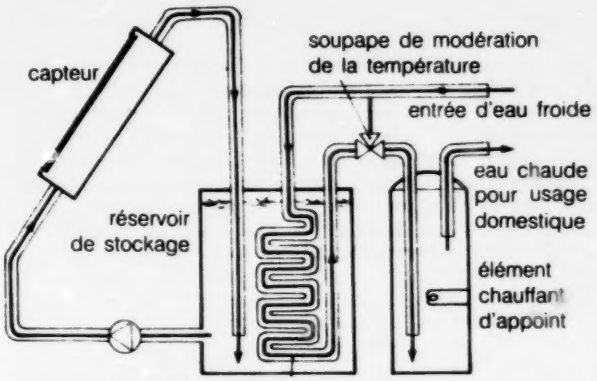
Capteurs

- Orientation: elle est toujours franc sud avec des écarts possibles de ±30°.
- Inclinaison: afin de bien capter autant les rayons d'été que d'hiver, l'inclinaison optimale est égale à la latitude du lieu, soit pour Québec ou Montréal environ 45° sur l'horizontale.
- Emplacement: en général sur la toiture ou sur toute surface plane avec un support.
- Surface de captage: avec des rendements moyens de capteurs de 50% la surface optimale est d'environ 1,5 m² par personne, soit par exemple 6 m² de capteurs pour une famille de 4 personnes.

Stockage

Le réservoir de stockage est en général disposé à côté du chauffe-eau classique auquel il est raccordé et dont il sert de préchauffage de l'eau. Le chauffe-eau classique fournit si besoin est l'appoint d'énergie pour que l'eau atteigne la température désirée. À ce propos il est recommandé de ne pas régler le thermostat au dessus de 50° C. Les 2 réservoirs doivent être parfaitement isolés. Le réservoir de stockage, dans le cas d'un circuit fermé eau-antigel contient un échangeur de chaleur qui devrait être à double paroi si l'antigel employé est toxique.

Préchauffeur d'eau solaire



Le réservoir peut dans certains cas être disposé au-dessus des capteurs. A ce moment, l'eau chaude s'élève naturellement du capteur au réservoir et redescend vers le capteur lorsqu'elle est refroidie. Ce principe physique, appelé thermosiphon, évite l'emploi de pompes. Il existe maintenant de tels chauffe-eau monoblocs, vendus avec le réservoir intégré au dessus du capteur, qui s'appliquent par exemple contre un mur sud de la maison. Un système d'une efficacité relative mais facile à bricoler mérite d'être signalé: il s'agit d'une cuve à eau peinte en noir, raccordée au réservoir conventionnel. Elle est placée dans un coffre bien isolé avc un vitrage et des réflecteurs concentrant plus de rayons sur la cuve. Durant les nuits froides ou journées sans soleil, une isolation mobile doit recouvrir la surface vitrée. Ce procédé joue donc à la fois le rôle de captage et de stockage de chaleur. Lorsqu'existe déjà un système actif pour chauffer l'espace en hiver, celui-ci peut alors être utilisé à l'année longue pour chauffer aussi l'eau domestique, le réservoir existant préchauffant l'eau conduite vers le réservoir conventionnel.

La consommation journalière d'eau chaude d'une personne est évaluée à 50 litres. Il est généralement prévu, par exemple pour une famille de 4 personnes, un réservoir fonctionnant à l'électricité de 200 litres. Le réservoir solaire accumulant la chaleur excédentaire pour faire face aux périodes sans soleil, doit bien sûr être dimensionné plus grand: on compte environ 75 à 100 litres par personne, soit, pour une famille de 4 personnes, des réservoirs solaires de 300 à 400 litres.

Distribution

Il s'agit de la distribution à eau chaude existante.

Éléments de contrôle

Ils sont les mêmes que dans les chauffages actifs de l'espace utilisant l'eau comme caloporteur: thermostats, clapet anti-retour, valves de dérivation, soupape de surpression ou vase d'expansion, pompes, etc.

Coût et rentabilité

Contrairement aux chauffages actifs de l'espace, cantonnés à l'hiver, les chauffes-eau solaires fonctionnent à l'année longue, pouvant souvent combler la totalité des besoins en été. Ils peuvent subvenir annuellement à 60% et parfois

70% des besoins de chauffage de l'eau. Deuxième facteur important de dépense d'énergie après le chauffage de l'espace, le chauffage de l'eau consomme de 15 à 20% de l'énergie thermique totale employée dans les résidences.

Un chauffe-eau solaire pour une famille de 4 personnes dans la région de Montréal, comprendra par exemple 6 m² de capteurs à 50% de rendement moyen, une cuve de stockage de 300 litres comprenant l'échangeur de chaleur, et les éléments de contrôle. Sur les 4 000 kWh consommés annuellement le système solaire fournira 2 400 kWh soit 60% des besoins. Pour l'achat du système complet avec l'installation et le transport, il faut compter de 2 000 à 3 000 $. Des systèmes monoblocs font leur apparition sur le marché et coûtent environ 2 000 $. Le chauffe-eau solaire nécessite un investissement amorti sur une douzaine d'années. Des moyens peu coûteux (restricteurs de débit fixés aux robinets et échangeur de chaleur transférant les calories de l'eau usée à l'eau neuve) abaisseraient de manière très sensible la consommation d'eau chaude et permettraient un format plus réduit de chauffe-eau solaire. Déjà rentables au Québec, les chauffe-eau solaires vont s'averer de plus en plus attrayants à l'avenir, au fur et à mesure qu'augmentent les prix des énergies conventionnelles.

Certains pays utilisent déjà très amplement les chauffe-eau solaires: quelque 200 000 sont recensés en Israël, plusieurs dizaines de milliers aux États-Unis et plusieurs millions au Japon. Mentionnons qu'ils peuvent tout autant servir dans les hôtels, les hôpitaux, les buanderies et les usines.

CHAUFFE-PISCINE SOLAIRE

Il s'agit toujours d'un système actif à eau présentant les mêmes caractéristiques que les dispositifs étudiés précédemment. Cependant, le chauffage solaire des piscines d'été fonctionne dans des conditions d'ensoleillement et de chaleur les plus favorables simplifiant beaucoup la conception générale du système.

Capteurs

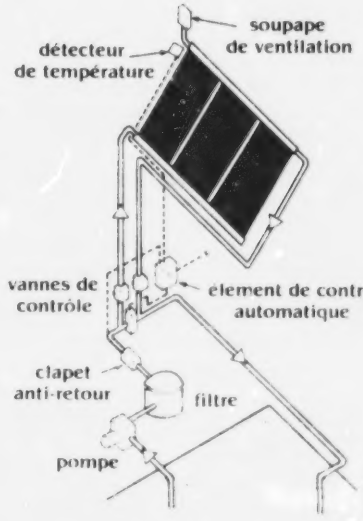
Les capteurs sont le plus souvent en plastique noir, rigide ou souple, supportant mieux l'eau chlorée. Ils n'ont nul besoin de vitrage au-dessus et d'isolant thermique au-dessous, éléments superflus en été. Ce ne sont finalement que des absorbeurs mis à nu qui profitent de l'effet de corps sombres. Ils sont donc 2 à 3 fois moins coûteux que les capteurs étudiés auparavant.

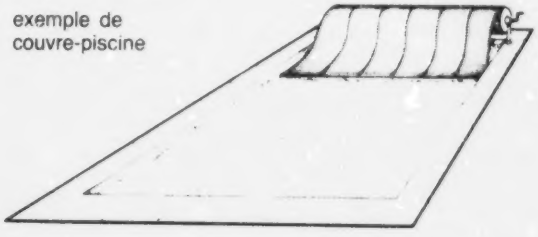
- Orientation: toujours franc sud avec ±45° d'écart possible par rapport au sud.
- Inclinaison: afin de bien capter les hauts rayons d'été l'inclinaison optimale est égale à la latitude du lieu moins 15°, soit pour Québec ou Montréal une inclinaison d'environ 30° sur l'horizontale.
- Emplacement: sur les toitures des maisons ou de bâtisses adjacentes, ou sur le terrain près de la piscine.
- Surface: en règle générale la surface de captage correspond à environ la moitié de la surface de la piscine.

Stockage

Le réservoir de stockage n'est autre que la piscine elle-même.

Le chauffage des piscines:
exemple de capteurs en plastique;





Distribution

Le chauffage solaire est directement raccorde au circuit existant de la piscine profitant du filtre et de la pompe, en général suffisante pour répondre à sa nouvelle tâche.

Éléments de contrôle

On retrouve les éléments habituels: thermostats, pompe, vannes de dérivation, clapet anti-retour, soupapes de surpression et soupape de ventilation, cette dernière permettant la vidange de l'eau des capteurs avant l'hiver. Il est conseillé d'arrêter le circuit solaire quand est versée dans le bassin une solution chlorée.

Conservation d'énergie

Avant même de penser au chauffage solaire il convient d'envisager un équipement prioritaire: la couverture isolante qui recouvre le bassin lorsqu'il est inutilisé. En effet, plus des trois quarts des pertes thermiques d'une piscine se font à travers la surface de l'eau, par rayonnement, convection et surtout par évaporation (70% des pertes totales). Les couvertures isolantes permettent de diminuer la consommation de chauffage de moitié et sont peu coûteuses. Les plus répandues sont en plastique transparent avec des bulles d'air pour la flottaison et l'isolation thermique. De simples bandes de polyéthylène de 0,15 mm

d'épaisseur, bon marché, conviennent aussi très bien. Les couvertures transparentes laissent traverser les rayons solaires qui peuvent alors continuer à élever la température de l'eau. Dans tous les cas, il est recommandé qu'une piscine soit exposée au maximum au soleil, surtout entre 8 h et 16 h, et qu'elle soit au mieux préservée des vents dominants.

Coût et rentabilité

Le chauffage solaire des piscines comble souvent la totalité des besoins et permet, outre une baignade agréable, un prolongement de plusieurs semaines de la saison des bains. Pour les piscines courantes (de 50 m² en moyenne), un chauffage solaire coûte de 2 000 $ à 3 000 $ tout compris, investissement amorti en 4 à 5 ans. C'est donc le système actif le plus économique et le plus attrayant. Les bricoleurs peuvent économiser sur la main-d'oeuvre en installant eux-mêmes le chauffage solaire. Celui-ci, souvent tout en plastique (capteurs, tuyaux, raccords, vannes, etc.) est facile à monter. Les bricoleurs peuvent aussi monter leur propre système avec des tuyaux noirs de jardinage de 300 à 600 mètres de long selon le cas. Ces capteurs élémentaires sont plus efficaces lorsque le tuyau est ramifié en plusieurs petits tuyaux. Il est aussi possible de profiter d'un toit sud en métal en y faisant ruisseler, à partir du faite, l'eau de la piscine récupérée en bas par une gouttière. Un polyéthylène doit être tendu sur le toit, prévenant l'évaporation de l'eau chlorée. Tous ces systèmes bricolés coûtent environ 200 à 300 $ mais sont moins efficaces et moins durables que les systèmes manufacturés. Enfin, une couverture isolante coûte en moyenne de 4 à 6 $ par m², soit 200 à 300 $ pour des piscines de 50 m². Un enrouleur, facultatif, coûte de 200 à 300 $. Déjà très répandus aux États-Unis, les chauffe-piscines solaires se généralisent au Canada.

SOLAIRE PASSIF

MAISONS SOLAIRES PASSIVES

Comme dans les systèmes solaires actifs, les fonctions essentielles de captage, stockage, distribution et contrôle de l'énergie solaire sont assurées, mais par la maison elle-même grâce à son architecture adaptée.

Maison-capteur

Les fenêtres orientées au sud sont de véritables capteurs solaires qui chauffent l'intérieur par effet de serre (étudié au chapitre précédant). Aussi toute conception passive maximise la surface vitrée qui occupe en général de ⅓ à ⅔ de la façade sud et parfois la totalité. Cela entraîne plusieurs conséquences : la maison doit être orientée suivant un axe est-ouest pour présenter la grande façade vitrée au sud (avec des écarts permis de plus ou moins 30°). Par

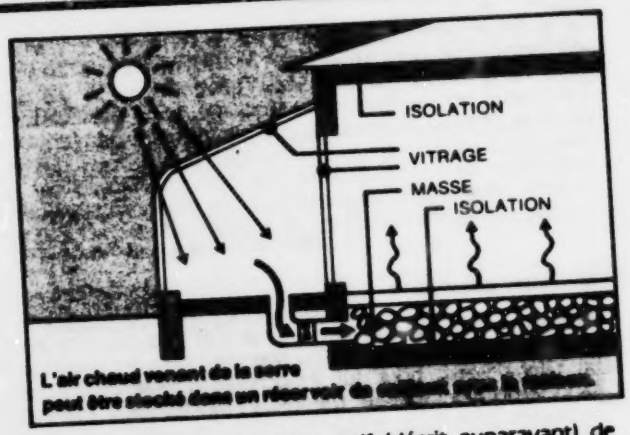
Coupe schématique de maison solaire active et passive

ailleurs, puisque la plupart des vitrages sont au sud (au moins les ⅔), le reste étant réparti sur les façades est, ouest et nord, c'est non seulement tout l'aspect architectural qui en est modifié mais aussi l'agencement interne des pièces. L'inclinaison de ces fenêtres-capteurs n'est pas vraiment optimale (90° sur l'horizontale au lieu de 60° dans les systèmes actifs) mais permet, au Québec, de bien recueillir les rayons solaires réverbérés par la neige et de mieux se préserver des hauts rayons d'été.

Maison-stockage

Dans les maisons solaires passives, le mode de stockage sert en général à emmagasiner l'excédent de chaleur du jour pour le distribuer durant la nuit. Ce faisant, le stockage permet de minimiser les écarts internes de températures. S'il n'existait pas, de fréquentes surchauffes seraient ressenties dans la maison, même en plein hiver, suivies de refroidissement rapide dès le coucher de soleil. Donc le stockage thermique est aussi un régulateur naturel de l'ambiance de la maison, face aux fluctuations climatiques. La taille du stockage va dépendre de l'importance de la surface vitrée sud. Dans les maisons construites en maçonnerie, c'est toute la structure de l'édifice qui joue le rôle de stockage thermique, ou parfois un seul élément tel qu'une dalle épaisse en béton ou un gros mur en briques exposé au soleil. Ce qui importe, plus que l'épaisseur des matériaux accumulateurs, c'est leur grande surface exposée au rayonnement solaire, le stockage devenant d'autant plus efficace que cette surface est grande. Leur teinte joue aussi un grand rôle. Les parois claires, véritables réflecteurs, réverbèrent le rayonnement sur les parois massives sombres utilisées comme absorbeur.

Au Québec, la plupart des résidences ont une ossature de bois qui ne peut accumuler beaucoup de chaleur. Des contenants à eau exposés au soleil et de teinte sombre, peuvent alors être employés. Il est encore possible de faire

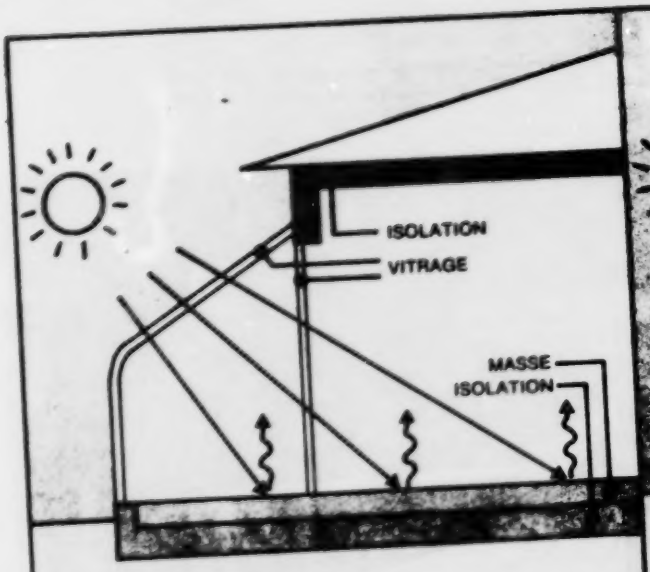


L'air chaud venant de la serre peut être stocké dans un réservoir de roches sous la maison.

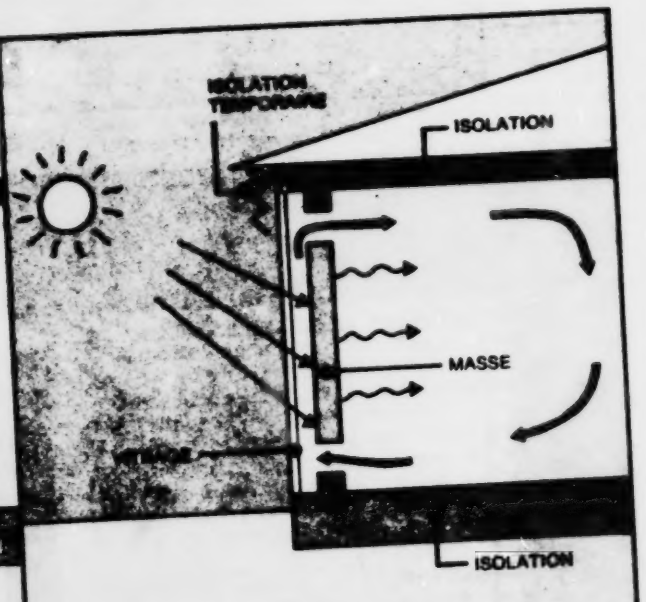
appel à un stockage solaire actif (décrit auparavant) de roches ou de galets. Par exemple l'air chaud des espaces sud est récupéré grâce à un ventilateur pour être conduit, à travers une gaine, vers un lit de roches sous la maison, qui fait alors fonction de plancher radiant. Il faut aussi mentionner des expérimentations prometteuses d'éléments architecturaux imprégnés de produits à chaleur latente. Il arrive souvent que des maisons solaires passives fassent appel à quelques ventilateurs pour mieux répartir la chaleur dans les espaces ou la conduire vers un stockage. C'est une entorse, tolérée, à la pureté de la conception solaire passive orthodoxe qui n'admet aucun éléments mécanisé.

Maison-distribution

La chaleur des espaces sud devrait être distribuée dans toute la maison par une circulation naturelle à travers des ouvertures judicieuses dans les cloisons ou planchers, à travers la cage d'escaliers, etc. Lorsqu'existe un système à



Une serre attenante prolongeant la porte patio offre un gain direct de chaleur et un espace tampon avec l'extérieur.



Le mur Trombe ne sera vraiment efficace qu'avec une isolation temporaire de la paroi vitrée pendant les périodes sombres.

air pulsé, le calorifère restant fermé, le ventilateur continue de fonctionner pour répandre l'air chaud du sud vers le reste de la maison par le réseau conventionnel de gaines. Les masses accumulatrices du stockage, après avoir absorbé de la chaleur, la dissipent progressivement par convection et par rayonnement (infrarouge). Il faut noter que le chauffage par rayonnement est sain et efficace car il chauffe directement les personnes qui ressentent un bon confort thermique sans que l'air ambiant soit trop chaud et sec.

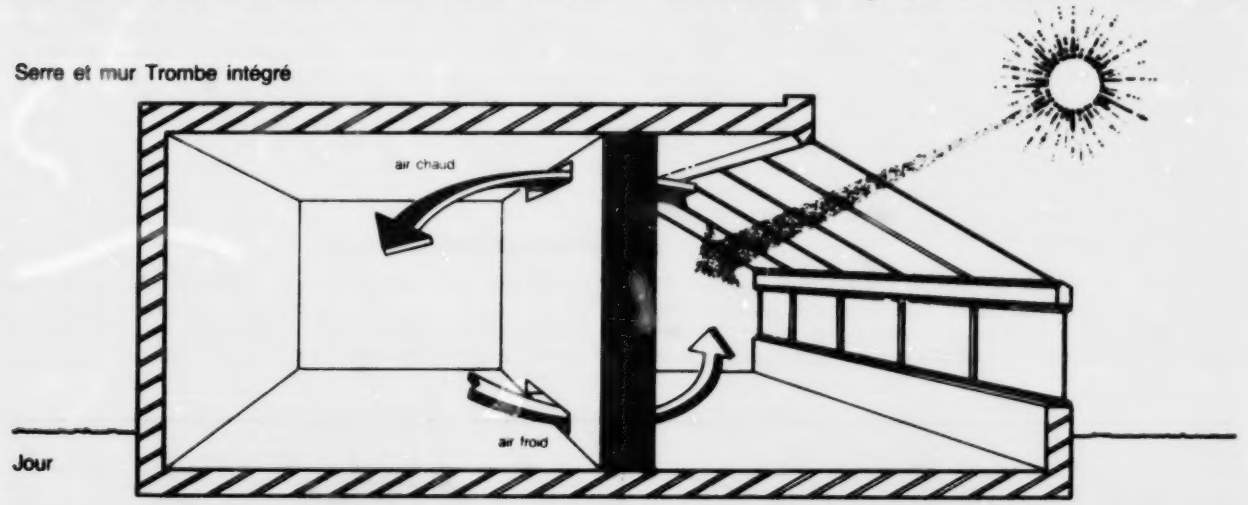
Maison-contrôle

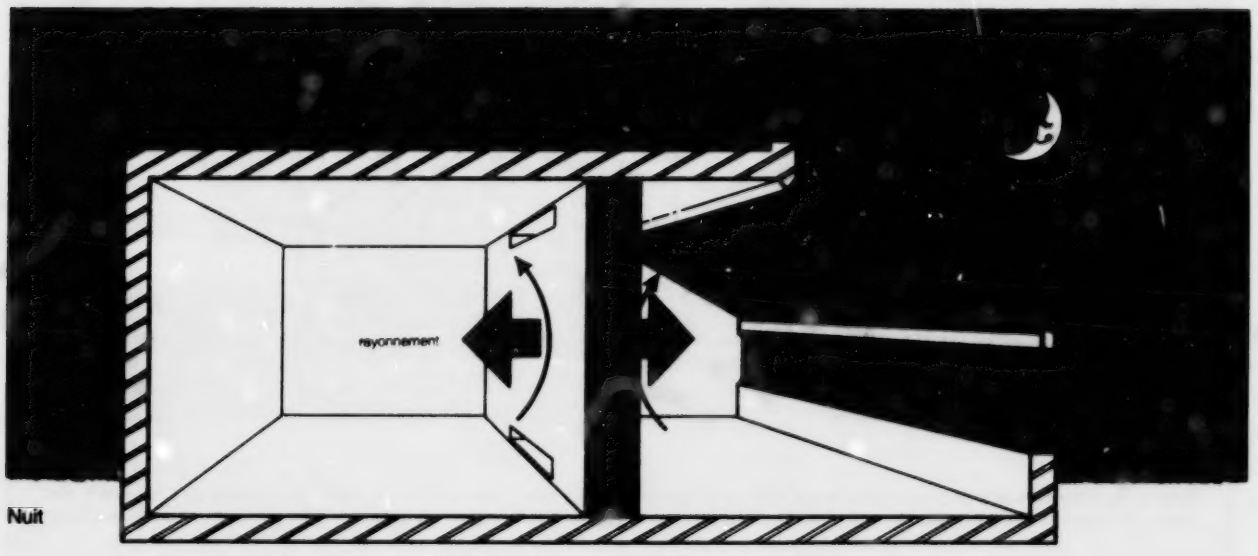
Quand existent des ventilateurs, ceux-ci peuvent être enclenchés de façon manuelle ou automatique avec thermostat. Globalement, pour que les occupants ressentent toute l'année un bon confort thermique (fluctuations internes modérées, chauffage efficace l'hiver, ambiance rafraîchie l'été, etc.), c'est toute l'architecture elle-même qui doit être bien conçue. Les éléments de contrôle s'assimilent donc totalement à une conception optimale de l'édifice devant être faite par des professionnels. Ceux-ci élaborent le plus souvent les conceptions grâce à des programmes de simulations par ordinateurs.

Murs Trombe

Le mur Trombe (du nom de son inventeur Félix Trombe) est un élément architectural qui remplit à la fois les fonctions de captage, de stockage et de distribution de chaleur. Il s'agit d'un mur sud très épais en maçonnerie (pierres, béton ou briques), de surface externe sombre recouverte d'un double vitrage. Par effet de serre, l'air chaud entre le vitrage et le mur se réchauffe et se répand dans la maison puis retourne derrière le vitrage, grâce à des ouvertures appropriées en haut et en bas du mur. C'est le principe du thermosiphon. La nuit, toute la chaleur captée par la paroi externe, qui est un véritable absorbeur, transite à travers l'épaisseur du mur et rayonne dans la maison (par infrarouges). Une isolation mobile doit le recouvrir durant les nuits froides. Au Québec, il peut être construit par l'élévation du mur de fondation sud sur un niveau supplémentaire. Les épaisseurs courantes sont de 30 à 40 cm. Les murs Trombe font très bon ménage avec des fenêtres et peuvent être

Serre et mur Trombe intégré





eux-mêmes percés de fenêtres, celles-ci chauffant immédiatement l'intérieur jusqu'à ce que le mur Trombe prenne progressivement la relève.

Il existe aussi des murs à eau, 2 à 3 fois moins volumineux, mais qui n'occupent aucune fonction porteuse de l'édifice. Constitués de cuves empilées ou de tubes alignés, ils permettent souvent un passage de lumière.

Plusieurs expérimentations sont réalisées sur des murs Trombe à produits à chaleur latente, sur des murs à eau translucides, sur des tronçons obliques de murs maçonnés dont l'orientation permet par exemple un passage de rayons matinaux et une absorption des rayons de l'après-midi, et sur des murs à « diode », sorte de murs-sandwich isolés au milieu, en forme de capteur plan à l'extérieur et de stokage plan à l'intérieur à travers lesquels circule un fluide caloporteur. Le mur Trombe et ses variantes sont donc encore soumis à de nombreuses recherches prometteuses.

Serre

C'est un procédé très connu et séduisant dont une forme apparentée est encore très populaire au Québec : le solarium. La serre est une enceinte vitrée, adossée ou intégrée au sud de la maison. Elle constitue un véritable capteur habitable qui fonctionne bien sûr par l'effet du même nom. Il faut distinguer 2 conceptions fort différentes :

- Une conception simplifiée avec peu ou pas de stockage thermique, pour une serre à usage très occasionnel dans laquelle de grands écarts de températures sont tolérés : comme une galerie, un vestibule, une pièce d'agrément. Par journée ensoleillée, la serre, parfois surchauffée, répand, par des orifices appropriés, son air chaud dans la maison. Les nuits fraîches, la serre très refroidie joue néanmoins un rôle de tampon, c'est-à-dire de protection supplémentaire contre le froid et les vents.

- L'autre conception s'adresse à des serres souvent embellies de plantes et d'usage plus fréquent et prolongé, comme des jardins d'hiver, des vérandas et, de manière générale, des prolongements habitables du séjour. Un mode de stockage est alors requis, accompagné d'une protection thermique recouverte sur la serre durant les nuits froides. Le stockage peut revêtir les diverses formes déjà étudiées auparavant comme une dalle en béton, des bidons d'eau, un mur Trombe, un lit de galets, etc.

Entre ces 2 conceptions existent plusieurs variantes intermédiaires. Selon les conceptions choisies, la serre est séparée du reste de la maison par un mur Trombe ou un mur à eau, par un mur isolé classique avec parfois des portes et fenêtres, ou encore par une façade toute vitrée. Souvent des ventilateurs permettent une circulation efficace de l'air chaud des serres dans la maison à travers des ouvertures appropriées. La serre peut encore être entièrement ouverte à l'espace de la maison, s'assimilant à un très grand vitrage sud classique. Les serres ne devraient idéalement qu'être chauffées par le soleil.

Écodesign

Sous ce vocable moderne signifiant à la fois conception, esthétique et économie d'énergie sont regroupés l'ensemble des paramètres qui puisent dans toutes les ressources de l'architecture et du site pour conférer à un habitat solaire passif, outre une esthétique intéressante, une grande efficacité énergétique. Une bonne conception architecturale doit, tout à la fois, pour répondre aux règles de l'écodesign :

— capter et bien gérer l'énergie solaire (grâce aux fenêtres, murs Trombe ou sérres), ce qui vient d'être étudié ;

— se prémunir du froid et des vents ;

— conserver au mieux la chaleur ;

— rafraîchir naturellement la maison en été (climatisation) ;

— combattre le froid et garder le chaud.

- Plusieurs rangées de conifères plantés aux endroits venteux protègent efficacement la maison contre le refroidissement très aggravant causé par les vents dominants. Ceux-ci sont susceptibles de modifier l'orientation optimale des maisons solaires. Par exemple, les maisons solaires proches du Saint-Laurent peuvent avoir leur façade sud légèrement décalée vers l'est pour présenter alors leurs petits côtés aux vents du Nord-Est et du Sud-Ouest. De manière générale, toute façade exposée aux vents devrait être peu importante, peu vitrée et ne rien présenter qui favoriserait les turbulences.

- Le terrain lui-même peut jouer un grand rôle en recouvrant par les buttes de terre paysagées les façades nord et exposées aux vents. Ces façades profitent alors des températures de terre assez stables et bien plus élevées que celles très fluctuantes et rigoureuses de l'air extérieur.

- La forme générale de la résidence est un facteur très important : elle doit être en fait un compromis entre des exigences de conservation d'énergie et de captage solaire. La meilleure conservation d'énergie est obtenue dans une maison de forme hémisphérique (rapport surface externe de l'enveloppe sur volume interne optimal, peu de prise aux vents) alors qu'un captage efficace est obtenu dans un édifice de forme très allongée face au sud. Le compromis donne une forme ramassée, qui maximise les espaces sud, basée sur un plan en rectangle dont le côté sud est environ 2 fois plus grand que le côté est ou ouest. Ceci n'est qu'une indication pratique. Les mouvements de terre, pentes de toiture et plan des édifices sont autant d'éléments qui, bien agencés, permettent de réduire les façades nord ou exposées aux vents et d'agrandir la façade sud.

- Le type d'habitat : il faut savoir que les résidences unifamiliales détachées, bien que les plus prisées au Québec sont celles qui gaspillent le plus d'énergie. Les maisons jumelées ou en rangées, grâce à leurs façades mitoyennes, consomment environ 25 et 40% d'énergie en moins. Les logements d'immeubles à plusieurs étages consomment quant à eux environ 70% d'énergie en moins qu'un unifamilial, ceux-ci ayant très peu de surface en contact avec l'extérieur par rapport au volume de l'habitat.

- Agencement intérieur : les espaces sud devraient plutôt être destinés à des pièces d'activités de jour, laissant passer librement la lumière et la chaleur. Ils sont protégés du nord et des parties ventées par des chambres à coucher et autres espaces-tampons (atelier, garage, rangements, etc.) bien cloisonnés et peu ou

pas chauffés. L'entrée doit être un vestibule double porte, véritables sas entre l'ambiance interne et externe.

- L'isolation thermique, alliée à une bonne étanchéité de l'édifice, reste le moyen le plus incontesté d'obtenir une bonne conservation d'énergie. Les fenêtres sont une cause importante de déperdition de chaleur, d'autant plus grande que le reste de l'enveloppe est bien isolée. Au Québec, les vitrages doivent être doubles et même triples. Si les fenêtres sud sont les seules à gagner globalement plus d'énergie qu'elles n'en font perdre, dans les maisons solaires, leur grande surface vitrée reste néanmoins un source importante de déperditions durant les nuits froides. Des rideaux ou stores classiques diminuent sensiblement les pertes thermiques. Mais il existe maintenant un grand choix de dispositifs modernes d'isolation mobile qui assurent aux fenêtres une très bonne résistance thermique durant les nuits froides et améliorent très efficacement le bilan thermique de la maison.

— Climatisation d'été

- Les fenêtres sud reçoivent 2 fois moins de soleil en été qu'en hiver (le soleil d'été frappant davantage la toiture). Elles devraient pourtant être complètement à l'abri du rayonnement estival, compte tenu de leur grande surface vitrée. Plusieurs solutions sont possibles : des arbres feuillus plantés au sud qui laissent passer les rayons d'hiver et ombragent la maison en été une fois qu'ils ont recouvré leurs feuillages. Les stores, rideaux ou volets peuvent aussi convenir. Des stores extérieurs amovibles sont quant à eux très efficaces. Il existe enfin des protections horizontales fixes qui laissent passer les bas rayons d'hiver et arrêtent leur hauts rayons d'été : avancée des toitures, portique, treille fleurie, etc.

- Les fenêtres est et ouest reçoivent, quant à elles, en été 2,5 fois plus de soleil qu'en hiver. C'est surtout les vitrages ouest, même de surface réduite, qui seront une cause de surchauffe. D'autant plus que le soleil d'après-midi, plus bas, pénètre plus à fond. Les protections horizontales s'avèrent ici inefficaces. Les solutions sont des plantations de feuillus, des stores ou des rideaux.

- La masse thermique de la maison solaire peut en été servir à stocker le froid avec les fenêtres ouvertes la nuit puis protégées du soleil le jour.

- La façade nord, en général, est peu ou pas vitrée. Il est cependant intéressant d'avoir au moins un vitrage qui permet en été la création d'un courant d'air nord-sud efficace et bien connu.

- Les serres et les murs Trombe devraient posséder une ouverture en partie haute qui aspire en été l'air chaud de la maison remplacé par de l'air plus frais provenant d'une ouverture nord (effet de cheminée). Souvent l'isolation mobile d'une serre, déployée sur le toit vitré, sert en été de protection solaire.

Coût et rentabilité

Il est difficile de cerner avec précision les coûts supplémentaires qu'entraîne une maison solaire passive étant donné qu'ils dépendent de conceptions plus ou moins imaginatives et de divers choix architecturaux. En général, ils sont compris entre 5 à 10% du coût total de l'édifice pour des économies d'énergie de l'ordre de 30 à 60%, économies très dépendantes en outre des habitudes de consommation des usagers. Le retour d'investissement se fait en moyenne sur une dizaine d'années. Si chacun s'habituait à évaluer les coûts des habitats en y intégrant les coûts d'opération de chauffage, il en déduirait que les maisons solaires passives sont en général très rentables pour les constructions neuves ainsi que pour certaines constructions existantes quand des travaux de rénovation sont prévus. Une expertise professionnelle, souvent requise pour aboutir à des conceptions bien pensées, n'est pas un luxe pour qui aime vivre dans une maison économique, esthétique, adaptée à ses goûts et à l'environnement. Actuellement sont développés de très nombreux programmes de simulation par ordinateur pour optimiser les conceptions solaires. Cependant, l'intuition et l'imagination ont toujours leur place : les maisons traditionnelles québecoises étaient en fait des maisons bioclimatiques conçues empiriquement et exprimant une réponse efficace au site et à l'hiver. Bel exemple à suivre à notre époque où, en dépit des technologies sophistiquées en notre possession, la plupart des maisons construites au Québec sont indigentes sur tous les plans. Il existe plusieurs milliers de maisons solaires passives en Europe et aux États-Unis où existent parfois des réglementations garantissant à chaque edifice le droit au soleil. Au Québec où une poignée de maisons solaires ont été construites, une architecture bioclimatique contemporaire reste à découvrir.

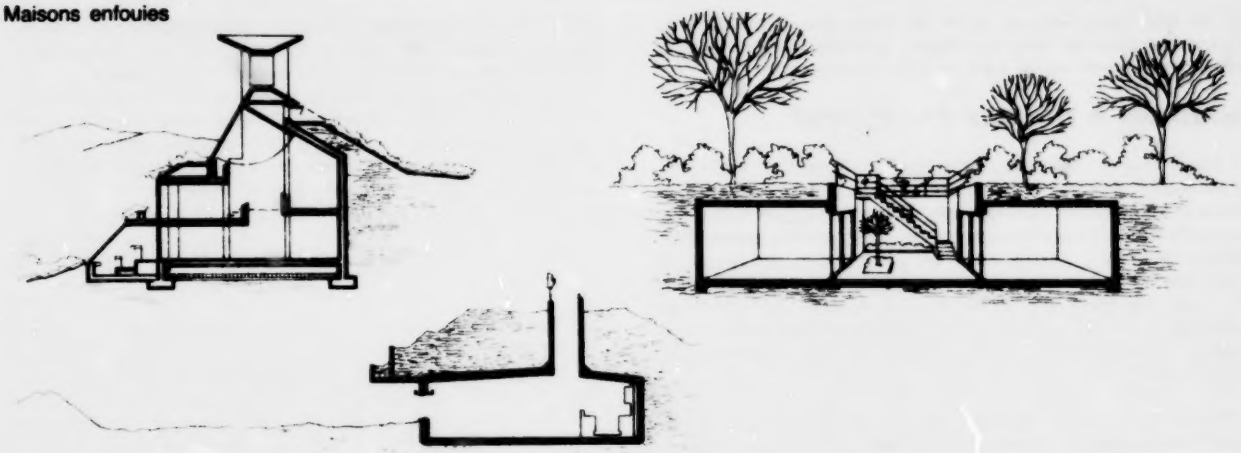
MAISONS ENFOUIES

Les maisons enfouies profitent au maximum des qualités particulières de la terre : plus qu'un isolant, la terre est une énorme masse thermique qui accumule graduellement la chaleur d'été pour la distribuer durant l'hiver. C'est en surface qu'elle subit des variations significatives, pouvant geler en hiver jusqu'à 1 à 2 m de profondeur. Ces variations sont souvent minimisées par la neige, véritable couverture isolante. Plus en profondeur, la terre garde une température assez stable toute l'année, qui oscille autour de 10° C. C'est donc de ce micro-climat tempéré dont profite la maison enfouie, ainsi à l'abri des grandes fluctuations journalières des températures de l'air ambiant.

En général, les maisons enfouies sont solaires passives : si la plus grande partie de l'enveloppe est recouverte de terre, seule la façade sud est toujours dégagée. Étant la principale ressource lumineuse de la maison, la grande surface vitrée sud nécessite un stockage efficace : le plus souvent il s'agit de toute la structure de l'édifice, en béton armé (coulé ou assemblé sur place) qui sert à la fois de masse thermique et à contenir la forte poussée des terres, latérale ou verticale. Par exemple, une épaisseur de 50 cm de terre sur la toiture imprime déjà une pression de 800 kg/m^2. L'isolation thermique extérieure est souvent faite de polystyrène extrudé résistant à l'eau et aux fortes pressions. Une membrane recouvre toute l'enveloppe externe. Capable de prévenir durablement toute infiltration d'eau et d'humidité, elle doit être de qualité très éprouvée : par exemple en néoprène, bituthène ou bentonite. Enfin, un drainage technique doit ceinturer tout l'édifice, les parois autant que la dalle et le toit s'il est enfoui. Tous les sols conviennent sauf certains, trop argileux, susceptibles de se dilater et d'endommager la construction quand ils sont gorgés d'eau.

Les résidences peuvent être totalement ou partiellement recouvertes de terre. Il est possible de bâtir un garage éventuel hors terre. Le volume de terre extrait pour faire place à la construction suffit en principe à recouvrir celle-ci,

Maisons enfouies



que le terrain soit plat ou en pente. Les parements extérieurs de la maison sont en gazon, en fleurs, en arbustes, ou même en cultures potagères. Parfois des puits de lumière ajoutent de l'éclairage à l'intérieur mais accroissent les coûts et compliquent la pose de la membrane étanche.

Non seulement la terre offre sa tiédeur hivernale, mais elle protège la résidence des vents froids et minimise efficacement les infiltrations d'air, causes d'importantes déperditions thermiques. Au point qu'une ventilation mécanique est souvent requise pour assurer un renouvellement d'air optimal. Les maisons enfouies offrent encore maints avantages comme une excellente isolation phonique, une bonne luminosité intérieure, et une ambiance fraîche en été. Enfin elles sont discrètes et gardent intacte toute la surface du terrain. Au Québec, de très nombreux espaces traditionnellement demi-enterrés pourraient être conçus en beaux séjours habitables et ensoleillés jouissant des avantages décrits plus haut.

Profitant de toutes les ressources de la terre et du soleil, les maisons enfouies permettent des économies d'énergie de l'ordre de 40 à 70% pour des surcoûts allant de 5 à 12% du coût total de la construction. Elles doivent cependant être conçues par des professionnels. Plusieurs centaines de maisons enfouies ont été construites aux États-Unis, où dans les régions très chaudes elles servent davantage à rafraîchir l'ambiance interne. En France un lotissement entier de maisons enfouies est bâti sur une colline près de Nice.

MAISONS SUPEREFFICACES

Dans les maisons conventionnelles, en moyenne, les ⅔ des déperditions thermiques se font à travers toute l'enveloppe de l'édifice, c'est-à-dire par les murs, le sol, les plafonds et les fenêtres. Le tiers restant est dû aux nombreuses infiltrations et exfiltrations d'air, par les portes et fenêtres et les fissures qui, si elles renouvellement naturellement l'air de la maison, sont causes d'inconfort et de gaspillage d'énergie (d'autant plus grand que les vents sont forts). Les maisons superefficaces sont conçues pour réduire au maximum chacune des causes de déperdition:

- L'isolation thermique est souvent de degré double, parfois triple, de celui usuellement employé dans les maisons classiques.

- Une parfaite étanchéité prévient toute infiltration d'air: un pare-vapeur continu, appelé aussi pare-air, recouvre toute l'enveloppe interne de l'édifice. Il s'agit souvent de feuilles de polyéthylène uniformément appliquées sur toutes les parois. La maison devient alors si étanche qu'une ventilation mécanique est obligatoirement prévue: elle permet un renouvellement d'air optimal (en moyenne 0,5 changement d'air par heure) évitant les concentrations d'humidité et de gaz carbonique. Très souvent la ventilation est couplée à un échangeur de chaleur air-air qui restitue la chaleur de l'air usé extrait à l'air neuf introduit. Un vestibule à deux portes constitue un vrai sas d'entrée.

- Toutes les fenêtres sont à triple vitrage, munies parfois d'isolation mobile, et sont principalement disposées au sud. Comme la surface vitrée totale est assez restreinte, le vitrage sud causera des écarts de températures très modérés, souvent minimisés par une simple circulation de l'air chaud dans le reste de la maison.

En conséquence les maisons superefficaces, si elles laissent une place au solaire, sont avant tout des habitats à très haute conservation d'énergie. À tel point qu'en moyenne elles sont chauffées pour un tiers par le soleil, pour un tiers par les appareils domestiques et les occupants, et pour le dernier tiers par le chauffage d'appoint (souvent électrique) qui consomme dans certains cas moins que le chauffe-eau. De même apparence que les maisons conventionnelles, elles sont le plus souvent construites à ossatures de bois mais avec des dimensions de structures particulières adaptées aux épaisseurs d'isolant.

Issues d'une première maison expérimentale achevée à Régina en 1977, 14 maisons superefficaces ont été construites en Saskatchewan. Leur succès en a permis un développement à travers tout le Canada. Plusieurs sont en construction au Québec, sous le nom de résidences R 2 000. Pour des coûts additionnels de 4 à 8% par rapport aux coûts totaux des édifices, les maisons superefficaces permettent des économiques d'énergie de l'ordre de 50 à 80%. Elles pourront être l'objet d'un grand développement

si un des obstacles est levé: le soin tout particulier et l'expertise dans la mise en oeuvre que les maisons superefficaces exigent de la part des constructeurs.

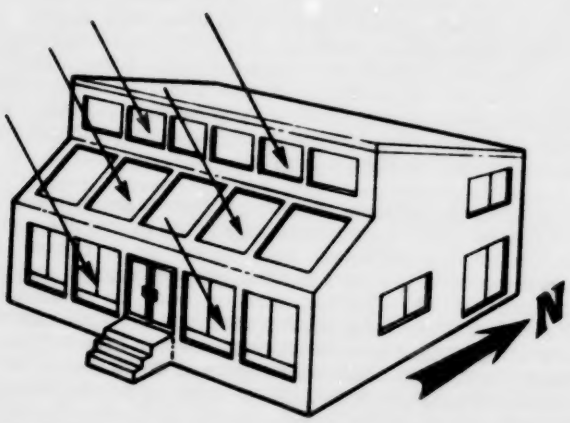
MAISONS À DOUBLE ENVELOPPE

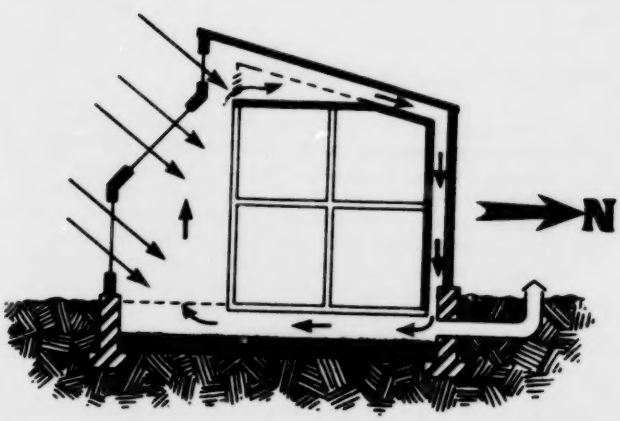
Il s'agit d'une conception de maison à double enceinte, c'est-à-dire d'une maison habitable circonscrite dans une maison légèrement plus grande. Toute la façade sud, conventionnelle, est attenante à une très grande serre: l'air chaud de la serre circule entre les 2 enceintes, par le toit, le mur nord, puis par le sous-sol en terre avant de retourner à la serre. La terre au sous-sol joue le rôle de stockage thermique et de régulateur d'humidité. Ainsi toute l'enceinte habitable est enveloppée d'une sorte de coussin d'air chaud.

Ce type d'habitat a connu une grande vogue aux États-Unis, voici quelques années, à laquelle succéda une violente controverse entre experts: certains dénonçaient en particulier le manque de rigueur dans l'optimisation des concepts, compte tenu des surcoûts assez élevés de 10 à 20% des constructions. D'autres reproches concernaient les risques accrus d'incendie et leur prévention coûteuse, la condensation fréquente sur les vitres sud, l'inaccessibilité de la zone comprise entre les 2 enveloppes au nord et au sous-sol et son accessibilité par de petits animaux, etc. Pourtant les occupants étaient en général très satisfaits de leur maison et économisaient presque autant d'énergie que dans les maisons superefficaces. Mais cela était dû au degré d'isolation et d'étanchéité presque similaire, les 2 enveloppes étant chacune bien isolée et étanche.

On s'oriente maintenant vers des conceptions qui conservent la grande serre mais d'où l'air chaud est directement conduit vers un stockage: une partie de la chaleur retourne à la maison, une autre à la serre. Le mur et toit nord est unique, bien isolé et étanche. Il s'agit donc plutôt d'une maison superefficace collée à une grande serre presque autonome. En conclusion, toutes ces écoles qui semblent diverger au départ, finissent par se rejoindre en donnant une foison de conceptions originales et innovatrices.

Maisons à double enveloppe





LES ÉOLIENNES

Expression des déplacements des masses d'air chaud et froid à la surface du globe, les vents ont permis depuis des siècles de propulser les voiliers ou d'actionner les moulins à vent ainsi que des stations de pompage d'eau. Cette inépuisable et gratuite énergie éolienne connaît un regain d'intérêt parmi le public souvent intéressé à la recueillir pour une production d'électricité utilisée dans les résidences. Grâce aux éoliennes modernes, cela est rendu possible selon plusieurs conditions que ce chapitre tente d'éclaircir.

Types

En général, les éoliennes se classent en deux catégories selon que leur axe de rotation est vertical ou horizontal. Voici les plus courantes:

axe vertical: on distingue les Savonius, éoliennes constituées de sortes de moitiés de barils pivotant autour de l'axe; les panémones (ou moulinets) faites de surfaces radiales ou de coupelles, employées en petit format dans les anémomètres, appareils de mesure des vents; les Darrieus, du nom de leur inventeur, fameuses éoliennes en forme de batteurs à oeufs; les dérivées des Darrieus, en général à pales droites. Toutes ces éoliennes tournent, quelle que soit la direction des vents, sans dispositif d'orientation.

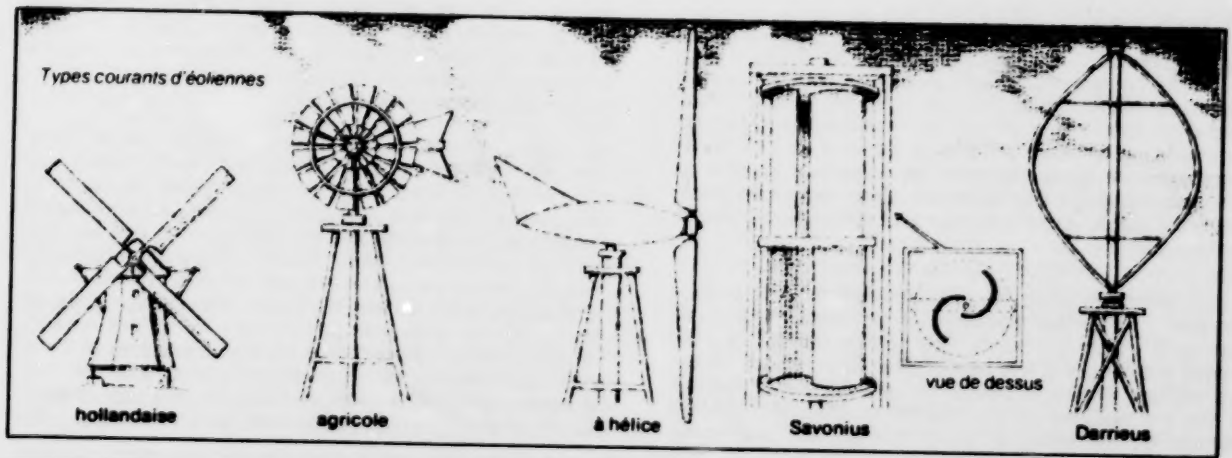
axe horizontal: on rencontre les moulins à vent traditionnels surtout utilisés pour moudre les grains, comme les moulins hollandais ou grecs; les multipales (de 8 à 24 pales) couramment employées dans les fermes américaines pour le pompage de l'eau; les éoliennes à 2, 3 (bipales et tripales), 4 et jusqu'à 5 pales; certaines éoliennes en forme de roues de bicyclettes. Toutes ces éoliennes ont besoin d'un dispositif d'orientation fait en général d'une girouette pour diriger l'hélice face aux vents. Ce dispositif est superflu pour certains types d'hélices qui reçoivent le vent de l'arrière.

Aérodynamique

Le vent s'écoule différemment sur les côtés exposés et cachés d'un objet. Une différence de pression entre ces côtés est alors réalisée, engendrant une force susceptible de déplacer l'objet. Il est commode de décomposer cette force en 2 forces; l'une, parallèle au vent: la traînée; et l'autre, perpendiculaire: la portance. Par exemple, une main tendue hors d'une voiture lancée à grande vitesse reçoit, face au vent, une poussée vers l'arrière: c'est la traînée. C'est elle aussi qui propulse les voiliers et pousse les voitures, par vent arrière. Si la paume est maintenant inclinée vers le bas, la main reçoit alors une poussée vers le haut: c'est la portance, la même qui soutient les ailes d'avions ou de deltaplanes en vol et qui plaque au sol les voitures de compétitions très rapides dont un profil différent pourrait les faires décoller!

Selon chaque type d'éolienne, c'est la portance ou la traînée qui va jouer un rôle prépondérant: ainsi les Savonius ou Panémones tournent grâce à la traînée. Tandis que

Types courants d'éoliennes



les pales d'éoliennes à hélice ou Darrieus tournent sous l'effet de la portance. Ces pales sont profilées de manière à ce que la portance soit maximisée au détriment d'une traînée devenue insignifiante. Cependant, si l'inclinaison des pales par rapport aux vents n'est pas optimale, la portance peut diminuer au dépend de la traînée jusqu'à devenir nulle : les pales ralentissent ou s'arrêtent, les ailes d'avion « décrochent » et ne portent plus.

Mécanique

Les Savonius, Panémones et Multipales présentent aux vents une grande surface de pales qui leur permet ainsi de se mettre facilement en mouvement, même par vents faibles, mais jamais de tourner très vite. Cela rend ces éoliennes utiles pour des applications mécaniques comme le pompage de l'eau. Érigées au-dessus d'un puits, elles en extraient l'eau par une pompe à piston, la rotation de l'axe étant transformée par une bielle en mouvement longitudinal.

À l'inverse, les éoliennes Darrieus et à hélice (2 à 5 pales), qui ont une faible surface de pales, démarrent plus difficilement, nécessitant parfois une légère dépense d'énergie, mais peuvent atteindre de grandes vitesses de rotation. C'est pourquoi, elles sont fréquemment utilisées pour produire de l'électricité : leur axe de rotation est couplé, par l'intermédiaire d'une transmission multiplicatrice, à l'axe d'une génératrice qui, pour être efficace, doit tourner très vite (de 1 800 à 3 600 tours/min, sauf pour un type de génératrices dites à « rotation lente » qui se passe alors de transmission). Ces éoliennes qui produisent de l'électricité sont encore appelées aérogénérateurs. Leurs pales commencent à tourner à partir d'une vitesse de vent dite de démarrage, mais par vents forts risquent de tourner bien trop vite, menaçant d'être arrachées du moyeu ou d'endommager la génératrice si ce n'est toute l'installation par des vibrations destructives. Aussi est souvent prévu un dispositif d'autorégulation qui stabilise la rotation des pales à partir d'une certaine vitesse de vent appelée vitesse nominale, la génératrice atteignant alors sa puissance maximale. Par exemple, un dispositif très employé consiste à modifier l'inclinaison des pales afin d'en réduire la portance et donc la vitesse de rotation, grâce à un système de pas variable mû par la force centrifuge. Enfin, avant les tempêtes, un système supplémentaire de freins ou de mise en drapeau (plan de l'hélice parallèle aux vents) arrête complètement l'éolienne sous une vitesse de vent dite d'éclipsage.

Caractéristiques générales

Contrairement à d'autres appareils de conversion d'énergie, les aérogénérateurs n'ont pas une puissance unique mais bien différentes puissances, acquises selon chaque vitesse de vent : de la vitesse de démarrage à la vitesse nominale la génératrice commence à fournir de l'électricité puis augmente graduellement de puissance jusqu'à sa puissance maximale dite nominale. Cette puissance nominale reste stable jusqu'à la vitesse d'éclipsage où tout le système s'arrête.

La puissance des vents captée par l'éolienne est proportionnelle à la surface balayée par les pales, ainsi qu'au cube de la vitesse des vents. Cela signifie que si la surface balayée est conçue 2 fois plus grande, la puissance captée sera doublée. Mais si la vitesse du vent double, la puissance, elle, est multiplié par $(2)^3$ soit par 8. C'est dire qu'il est essentiel qu'une éolienne, pour être efficace, soit située dans un site très ventueux. Il est certes possible de compenser un faible régime de vents par une très grande surface des pales mais ce sera une opération très couteuse.

Si l'éolienne pouvait extraire toute la puissance qu'elle capte du vent, cela signifierait qu'aucun souffle d'air ne subsiste à la sortie des pales, ce qui est impensable. En théorie le maximum qu'une éolienne peut extraire du vent est de 50% de la puissance captée : c'est la limite de Betz. En pratique la puissance extraite est toujours inférieure, à cause des rendements propres de chaque composant de l'éolienne, en particulier du rendement des pales, appelé rendement aérodynamique, qui varie selon un rapport vitesse en bout de pales sur vitesse du vent. Le rendement global de l'éolienne, rapport de la puissance réelle extraite sur la puissance totale captée, s'appelle coefficient de puissance (C_p).

$$C_p = \frac{\text{Puissance extraite}}{\text{Puissance captée}} \quad \text{avec puissance captée } P = \tfrac{1}{2}\,\rho.S.V.^3$$

P en Watts ou kW

S = surface balayée par les pales (m^2)

V = vitesse des vents (m/s)

ρ = densité de l'air (en général plus forte en hiver qu'en été et plus forte en basse qu'en haute altitude : au niveau de la mr, en général, ρ = 1,25 kg/m^3)

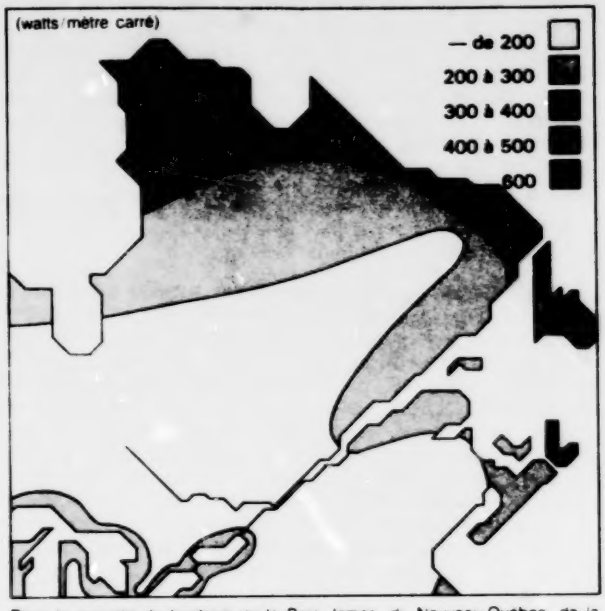
Site d'implantation

Avant d'implanter une éolienne sur un site donné, l'utilisateur doit avant tout en déterminer les modalités d'applications concrètes, légales et économiques.

Au Québec, aucune réglementation n'interdit à un particulier de produire sa propre énergie électrique. Cependant, les éoliennes doivent souvent respecter des réglementations locales concernant par exemple le zonage, la hauteur et parfois l'esthétique des ouvrages. Dans les zones habitées, les compagnies d'assurances sont parfois réticentes à assurer l'éolienne, craignant surtout des accidents de bris de pales, rares mais toujours possibles. Le voisinage, dans certains cas, peut aussi manifester son inquiétude pour les mêmes raisons, ou à cause d'éventuelles nuisances de bruit, en réalité très faibles, et de possibles interférences sur les ondes de télévision. Toutes ces contraintes rendent difficile l'implantation d'éoliennes dans les zones habitées. De plus, pour éviter les turbulences qui fatigueraient très vite la mécanique, les éoliennes ne peuvent être érigées près d'obstacles (maisons, arbres, collines...) qui se trouvent dans un rayon de 100 m, à moins qu'elles ne soient à 6 à 8 mètres au-dessus de ces obstacles ; ce qui en limite grandement l'installation dans les villes.

Un autre facteur essentiel est de choisir un site très venteux. En règle générale, il n'est pas rentable d'avoir une éolienne sur un site où la moyenne annuelle des vents est inférieure à 15 km/h. Les régions du golfe du Saint-Laurent et les Îles-de-la-Madeleine sont les plus venteuses au Québec où, néanmoins, bien d'autres régions profitent de micro-climats avantageux. Les sites privilégiés sont en général sur les collines, dans les plaines dégagées, aux abords des fleuves ou océans et parfois dans les vallées étroites. Un grand terrain permet plus de souplesse dans le choix d'un lieux adéquat. Il n'est guère recommandé de fixer l'éolienne sur un toit de résidence, pouvant être endommagé par les vibrations et s'envoler avec l'éolienne... Plus

Densité moyenne des vents, à 30 mètres du sol



Dans la majorité du territoire de la Baie James, du Nouveau-Québec, de la Côte-Nord et de la Gaspésie, la densité énergétique moyenne annuelle des vents atteint ou dépasse les 200 watts par mètre carré de section d'une éolienne. Diverses contraintes limitent toutefois le nombre d'éoliennes qu'on peut installer sur une même portion de territoire ainsi que le rendement maximum de chaque machine.

l'éolienne est haute plus elle va recueillir de vents. Mais puisque les éoliennes employées pour les résidences ne peuvent rassembler à des tours de Babel, les hauteurs les plus répandues vont de 8 à 12 m.

Pour avoir une première approximation du potentiel éolien du site choisi, il suffit d'obtenir les données des vents, d'une station de météo ou de l'aéroport le plus proche. Toutefois, compte tenu des écarts importants qui sont fréquemment enregistrés entre 2 sites même très voisins, il est recommandé de faire ses propres mesures « in situ » avec un anémomètre. Celui-ci devra être fixé à la hauteur présumée de l'éolienne soit en général 10 m, hauteur à laquelle sont aussi recueillies les données de la météo. Les anémomètres sont à tous les prix, d'autant plus chers, comme des anémomètres enregistreurs qu'ils sont précis et prennent toutes les mesures automatiquement. Sinon de trop fréquents relevés doivent être faits par l'utilisateur lui-même. Les mesures doivent fournir, sur une année: les vitesses moyennes des vents et leur durée, les vitesses maximales, les périodes de calme les plus longues et la périodicité du vent. Ces calculs doivent être établis chaque 3 mois, 2 mois ou chaque mois selon le degré de précision exigé. Parfois des manufacturiers d'éoliennes louent des anémomètres ou effectuent eux-mêmes les mesures. Connaissant la moyenne annuelle des vents sur un site donné, ils peuvent déjà évaluer l'énergie approximative que fournira une éolienne grâce à des courbes de probabilités (de Rayleigh).

Stockage

Étant donné que l'énergie du vent est intermittente, elle doit être obligatoirement stockée afin de pouvoir combler les besoins des usagers aux bons moments. Dans les résidences, le mode de stockage de l'électricité le plus répandu est constitué de batteries d'accumulateurs au plomb, comme celles employées dans les voitures, qui fonctionnent toujours en courant continu.

Or, si certaines génératrices fournissent du courant continu (dynamo), la plupart donnent un courant alternatif (alternateur, système à induction, multipôles) qui doit alors être redressé en continu avant d'être accumulé. Donc, à la sortie de ces éoliennes, un redresseur est couplé à un habituel régulateur de voltage. Ensuite, les batteries d'accumulateurs alimentent directement les résistances électriques d'appareils tels que grille-pain, ampoules à incandescence, plinthes et chauffe-eau électriques, ces résistances fonctionnant en courant continu ou alternatif quelle qu'en soit la fréquence. Par contre, les appareils tels que réfrigérateurs, téléviseurs, systèmes de son et tubes fluorescents, ne peuvent en général fonctionner qu'avec le courant stable du réseau (alternatif, 120 ou 240 volts, 60 hz) et nécessitent alors un convertisseur qui transforme en alternatif le courant continu des batteries. Il faut mentionner que le convertisseur est inutile si ces derniers appareils fonctionnent en courant continu, comme certains en usage dans la marine.

Pour le chauffage de l'eau et de l'espace, il est possible de se passer de batteries d'accumulateurs en connectant directement à l'éolienne les résistances électriques, celles-ci fonctionnant quel que soit le courant variable, alternatif ou continu, issu de l'éolienne. C'est ainsi, par exemple, que sera alimenté la résistance du chauffe-eau, celui-ci faisant office de stockage de chaleur et devant être plus volumineux que les appareils conventionnels. De même, une résistance électrique logée dans un grand réservoir d'eau permet de chauffer la maison par des radiateurs ou par des gaines d'air avec un échangeur eau-air. La résistance peut aussi être logée dans une dalle épaisse qui fait office de plancher radiant. Enfin, si des plinthes électriques sont branchées sur l'éolienne, c'est la maison elle-même qui devra stocker la chaleur, comme dans le cas des maisons solaires passives. Donc, en ce qui concerne le chauffage électrique de l'eau et de l'espace, divers modes de stockage de chaleur peuvent se substituer au stockage électrique par batteries.

Le réseau public peut servir aussi de mode de stockage: l'excédent d'énergie fourni par l'aérogénérateur est envoyé dans le réseau, qui le retourne à la maison quand l'éolienne fait défaut. Cela est possible grâce à un convertisseur synchrone qui, en permanence, stabilise le courant variable sorti de l'éolienne en courant équivalent à celui du réseau. Un compteur réversible permet d'enregistrer ce que doit le réseau public et ce que l'utilisateur lui doit. Avant d'opter pour cette formule, très employée aux États-Unis, l'utilisateur doit faire une demande écrite à Hydro-Québec qui en évaluera le degré de sécurité.

Besoins

Les besoins d'énergie que l'éolienne pourrait combler sont, dans une maison existante, indiqués sur les dernières factures d'Hydro-Québec, en kilowatt-heure (kWh). Un estimé des consommations de chaque appareil électrique est disponible, permettant d'analyser l'énergie consommée selon chaque secteur. Par exemple, une simple ampoule de 100 watts de puissance, soit 0,1 kilowatt (1 kW = 1 000 W) aura consommé après 1 000 heures d'utilisation: 0,1 × 1 000 = 100 kWh. De même, l'addition des produits de chaque puissance de l'éolienne par la durée des vents respectifs exprimera l'énergie totale fournie par l'éolienne. Les meilleures coïncidences entre les tableaux des besoins

d'énergie exprimés et les tableaux des fournitures d'énergie de l'éolienne (effectués chaque 3 mois, 2 mois ou 1 mois sur 1 an), détermineront le choix adéquat d'une éolienne. Une règle empirique recommande le choix d'une puissance nominale d'éolienne environ double de la puissance à combler dans l'habitat en période de pointe, soit en hiver. De même, cette puissance nominale devrait être acquise à une vitesse de vent nominale voisine de la vitesse moyenne des vents en hiver sur le site choisi.

Les constructeurs d'éoliennes évaluent parfois eux-mêmes l'énergie fournie par l'éolienne à partir d'une courbe mathématique dite puissance-durée qui se déduit des courbes puissance-vitesse, caractérisant l'éolienne, et vitesse-durée, caractérisant le site.

Il est encore utile de savoir qu'une puissance électrique (en watt) est le produit de la tension du courant (en volt) par son intensité (en ampère). Les batteries d'accumulateurs sont dimensionnées pour répondre aux besoins durant les périodes de calme les plus longues. Leur capacité s'exprime en ampère-heure (produit de l'intensité du courant par le temps de décharge) et se calcule par le rapport de l'énergie à combler (en watt-heure) sur la tension requise (en volt).

Par exemple : $\frac{12\,000\ \text{W.h}}{120\ \text{V}} = 100\ \text{Ah}$, avec 10 batteries de 12 volts en série

Coûts et rentabilité

Les aérogénérateurs emploient des technologies sophistiquées et doivent être de qualité très éprouvée, car soumis à de rudes contraintes. Cela explique leur coût assez élevé qui englobe, par exemple, pour un type courant à hélice bipale : l'aéromoteur, la tour, la batterie d'accumulateurs et le convertisseur. L'aéromoteur comprend les pales et leur dispositif d'autorégulation, la génératrice et la transmission logées dans un carter qui, solidaire de la girouette, pivote sur la tour, sans oublier l'éventuel régulateur de voltage et redresseur. Il en coûte de 1 500 à 3 000 $ environ par kW de puissance d'éolienne (tout compris avec transport et main-d'oeuvre). Si on évalue à au moins de 5 à 10 kW les puissances requises dans une résidence moyenne, il en coûtera de 10 000 à 30 000 $ selon les cas pour y combler la totalité des besoins. C'est une solution parfois rentable dans les sites venteux et très éloignés du réseau public.

Par contre l'autonomie énergétique pour les résidences proches du réseau n'est pas rentable, compte tenu en particulier du coût important du stockage requis et du convertisseur qui peut représenter plus de la moitié du coût total de l'installation. Il vaut mieux dans ce cas chercher à combler environ de 30 à 60% des besoins thermiques en se cantonnant dans le chauffage de l'espace et de l'eau avec un mode de stockage de chaleur qui se substitue au système de batteries et convertisseur. Il peut alors en coûter de 6 000 à 12 000 $ pour combler 50% des besoins de chauffage d'une résidence dans un site venteux. En réalité, du fait des particularités de chaque site, éolienne et mode de stockage, les calculs de rentabilité doivent se faire cas par cas. Finalement, ce qui modère l'implantation des éoliennes au Québec, c'est le prix de l'électricité du réseau, bien plus bas que par exemple chez nos voisins du sud où justement les éoliennes prospèrent.

Pourtant le Québec est à la pointe des technologies d'éoliennes à grande puissance avec la Darrieus géante des Îles-de-la-Madeleine, couplée au réseau, de 37 m de haut et de 230 kW de puissance nominale. Hydro-Québec projette d'ériger une autre Darrieus dépassant les 100 m de haut et développant 3 800 kW de puissance. Aux États-Unis existent de véritables parcs d'éoliennes, de moyenne puissance, servant à alimenter les réseaux publics. Au niveau des petites éoliennes, en dehors du résidentiel, les applications principales servent à alimenter en électricité les balises de télécommunication, les phares, les cabines de parcs, etc. Par exemple, le parc des Anciens combattants à Lauzon est éclairé grâce à une éolienne bipale.

POMPES À CHALEUR

Les pompes à chaleur, encore appelées thermopompes ou pompes thermiques, permettent le chauffage et la climatisation de l'espace. Elles fonctionnement surtout à l'électricité. Mais, si par exemple de simples plinthes électriques ne font que convertir honnêtement toute l'électricité consommée en chaleur, avec 100% de rendement, les pompes à chaleur fournissent, quant à elles, une quantité d'énergie thermique bien supérieure à l'énergie électrique consommée, parfois jusqu'à 4 fois plus! Ces généreux appareils, qui offrent plus qu'ils ne reçoivent, permettent ainsi d'économiser de l'énergie, utilisant en fait l'électricité uniquement pour voler de la chaleur déjà existante dans un milieu extérieur et la transférer dans la maison. Voyons comment.

Extraire la chaleur du froid

Chacun possèdet chez soi une pompe à chaleur de petit format: le réfrigérateur qui prélève la chaleur des aliments pour la transférer derrière l'appareil. Un climatiseur en été prélève de la chaleur contenue dans la résidence et la rejette à l'extérieur. Suivant le même principe, les pompes à chaleur font exactement l'inverse, puisant en hiver de la chaleur du dehors afin de chauffer l'intérieur. Comme procéder en hiver quand ces milieux extérieurs à la maison sont souvent bien plus froids que la maison? Tout simplement en les rendant encore plus froids ou moins chauds, pourrait-on dire, quand on sait que l'air contient en théorie de l'énergie thermique jusqu'à $-273°$ C, température du zéro absolu! Par exemple, dans le cas de l'air ambiant à $-5°$ C, la pompe à chaleur y puise de la chaleur, abaissant un certain volume de cet air de $-5°$ C à $-10°$ C, élevant le volume de la maison de 15° C à 20° C. Ainsi, comme une pompe à eau inverse l'écoulement naturel de l'eau de haut en bas, une pompe à chaleur inverse l'écoulement naturel de l'air chaud vers l'air froid, transférant la chaleur d'un milieu froid à un milieu plus chaud.

Caractéristiques

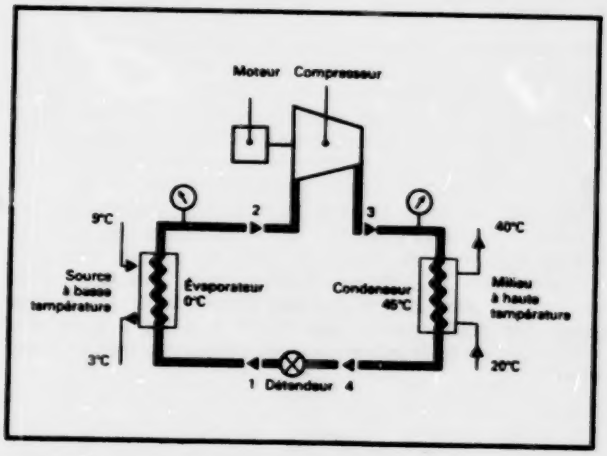
Il existe bien d'autres milieux froids que l'air ambiant: l'air vicié extrait d'un édifice, l'air ou l'eau provenant d'un stockage solaire, l'eau des lacs et des rivières, de la nappe phréatique, le sol entourant les maisons, etc. Le milieu chaud constitué par la maison dépend du mode de distribution employé: à air ou à eau. Ainsi, chaque pompe à chaleur est caractérisée d'abord par la nature de la source froide (air, eau, sol) et ensuite par celle du milieu chaud (eau ou air). On parle alors de pompes eau-air, air-air, sol-air, air-eau, etc.

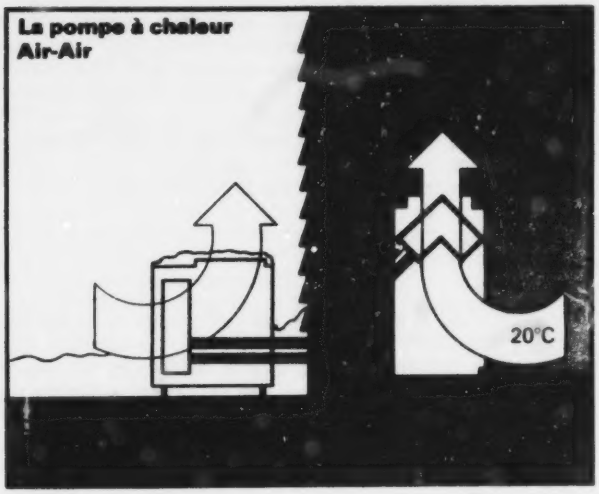
Le rendement d'un calorifère est le rapport de la puissance fournie sur la puissance consommée. Les rendements des calorifères classiques sont toujours inférieurs ou égaux à 1. Les pompes à chaleur, quant à elles, fournissent plus d'énergie qu'elles n'en consomment et ont donc des rendements toujours supérieurs à 1. On parle alors plutôt d'efficacité, ou de coefficient de performance: COP. Par exemple, un COP de 2, signifie qu'elles fournissent 2 fois en énergie thermique la quantité d'énergie électrique consommée. Mais, à l'inverse des rendements constants d'autres calorifères, le COP des pompes à chaleur varie suivant les écarts de température entre le milieu froid et chaud, devenant d'autant plus bas que l'écart se creuse. C'est dire que plus la source froide est froide, moins la pompe est performante. Le COP des pompes à chaleur est donc variable, ne donnant pas une idée précise de leur efficacité réelle.

Pour connaître les performances réelles d'une pompe à chaleur à l'année longue, une formule supplémentaire est utilisée: le coefficient d'efficacité saisonnier (ou CES) qui est, pour toute la saison de chauffage, le rapport de l'énergie thermique totale fournie par la pompe sur l'énergie électrique totale consommée. Par exemple, un CES de 2 signifie que la pompe offre une part d'énergie thermique 2 fois supérieure à l'énergie qu'elle aura consommée, soit 2 parts moins une part consommée: 1 part gratuite, donc 50% d'économie d'énergie. Un CES de 4: 4 parts — 1 part consommée: 3 parts gratuites soit 75% d'économie d'énergie.

Concrètement, les pompes à chaleur ressemblent à des fournaises à l'huile de même taille qu'un réfrigérateur et sont monobloc ou en deux parties. Les améliorations récentes minimisent les nuisances de bruit occasionnées surtout par les pompes air-air. Elles peuvent posséder un circuit réversible leur permettant de climatiser la maison en été, ce qui semble superflu au Québec. Certaines servent aussi à chauffer l'eau domestique.

Schéma de pompe à chaleur





Fonctionnement

Il est bien connu que l'eau se met à bouillir à la température de 100° C, passant de liquide à l'état de vapeur, donc de gaz, en absorbant de la chaleur qu'elle restitue en se condensant. Le fluide généralement employé dans le circuit fermé des pompes à chaleur, appelé fluide frigorigène, est le fréon 22 qui passe aussi de l'état liquide à gazeux en absorbant de la chaleur mais à toute température supérieure à −40,8° C. Ce fréon traverse un échangeur de chaleur extérieur, l'évaporateur, où il va se vaporiser en prélevant de la chaleur du milieu froid. Puis il traverse le compresseur, s'échauffant beaucoup en étant fortement comprimé. Il continue sa route en restituant sa chaleur à la maison par un échangeur intérieur, le condenseur. Passablement attiédi et condensé, il traverse enfin un détendeur qui lui rend sa pression normale, redevenant liquide et recommençant le cycle. Le compresseur joue en outre le rôle de pompe du circuit du fréon. C'est lui qui, actionné par un moteur, consomme de l'électricité et cause le bruit caractéristique des réfrigérateurs en marche.

Sources froides

L'efficacité des pompes à chaleur est donc fortement dépendante des sources d'extraction, chacune va être étudiée plus en détail dans le contexte du Québec.

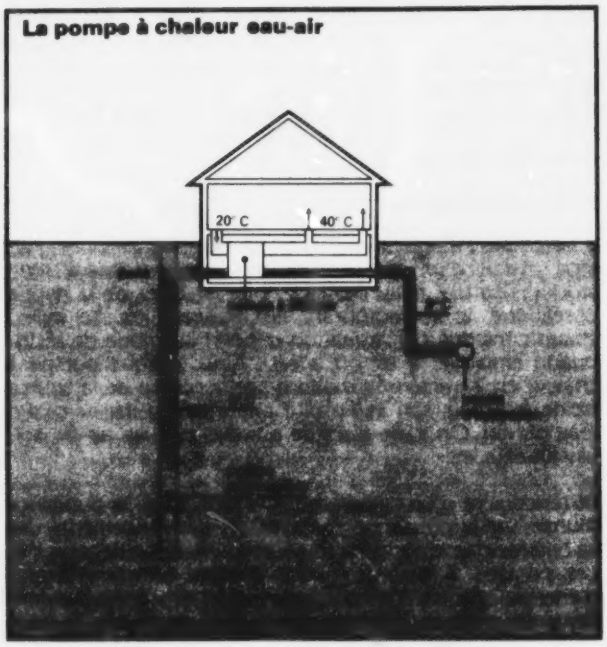
Air ambiant : En général, les pompes à chaleur actuelles peuvent répondre à la totalité des besoins d'une résidence lorsque l'air extérieur descend jusqu'à −2° C. Au fur et à mesure qu'il descent jusqu'à −23° C, un chauffage d'appoint prend progressivement le relai. En-dessous de −23° C la plupart des pompes s'arrêtent, l'appoint devant alors combler la totalité des besoins. Très utilisées aux États-Unis où elles servent tout autant à climatiser les locaux, les pompes air-air, moins intéressantes dans le climat rigoureux du Québec, peuvent surtout être employées dans le sud du Québec, dont Montréal. Elles permettent alors des économies d'énergie de 35 à 45% pour des coûts variant de 4 000 à 6 000 $ dans des résidences de taille moyenne, correctement isolées et étanches.

Air vicié extrait : Source froide très intéressante dans les édifices publics qui en rejettent d'énormes quantités, et où les pompes à chaleur sont depuis longtemps utilisées, mais inopérante dans les résidences dont le renouvellement d'air est faible. Pour les résidences bien étanches, il vaut mieux utiliser un simple échangeur de chaleur (air vicié — air neuf).

Eau des rivières et des lacs : Source froide souvent gelée, donc trop froide, posant en outre des problèmes de corrosion et d'éloignement, peu adéquate pour les résidences.

Eau ou air de réservoir de stockage solaire : Permet aux pompes à chaleur d'acquérir d'excellentes performances (COP de 3 à 5) tout en améliorant celles du système solaire. Une pompe eau-air, par exemple, prélève le reste de chaleur du réservoir à eau, insuffisante pour être distribuée dans la maison telle quelle. Le prix d'un tel ensemble est souvent compris entre 10 000 et 15 000 $ pour des économies d'énergie de 50 à 80%. En général, aucun chauffage d'appoint n'est requis.

Eau de la nappe phréatique : Ces nappes d'eau de pluie retenues par des couches imperméables constituent une source froide très attrayante. Au Québec, elles sont en moyenne d'une profondeur de 30 à 60 m, prenant des températures du milieu ambiant comprises entre 4 à 10° C selon les sites, garantissant d'excellentes performances quasi constantes aux pompes à chaleur dont les COP prennent des valeurs stables comprises entre 2,5 et 4,5. Mais il faut inclure les frais de creusage d'un puits d'extraction (de 10 cm de diamètre environ), d'une pompe submersible (de débit d'eau de 0,3 à 2 litres par seconde selon les cas), et d'un puits de rejet, réinjectant l'eau froide dans la nappe (à au moins 30 mètres du premier puits) ou d'un bassin d'infiltration ou encore d'une canalisation vers un étang, un lac ou une rivière. Ces pompes pourraient offrir des économies d'énergie de 60 à 70%, mais nécessitent un investissement moyen de 8 000 à 12 000 $ pour une résidence.



Terrain voisin d'une maison: Solution acceptable lorsque la maison possède un terrain vierge et ensoleillé: en été, le sol accumule la chaleur solaire, disponible durant l'hiver. Une tuyauterie de 300 à 600 m de long enfouie dans le sol, est traversée par une solution antigel qui en absorbe la chaleur puis la transfère au fréon. À la fin de l'hiver, le sol atteint parfois des températures allant jusqu'à −5° C puis se réchaffe à nouveau durant tout l'été, prêt à offrir toute sa chaleur l'hiver suivant. Ces pompes à chaleur sol-air coûtent de 8 000 à 10 000 $ pour des économies d'énergie de 55 à 65% en moyenne.

Sources chaudes

Au Québec, ce sont surtout les pompes air-air, eau-air (nappe phréatique) et sol-air (terrain) qui sont employées. La distribution se fait le plus souvent par air pulsé mais les températures, à la sortie des pompes à chaleur étant inférieures à celles des fournaises classiques (40 à 55° C par rapport à 60 à 80° C), nécessitent des gaines d'air de section plus grande. Des gaines d'air de sections conventionnelles peuvent être employées mais abaissent le rendement du système.

Coût et rentabilité

Au Québec, ces pompes à chaleur peuvent se rentabiliser avec un retour d'inventissement d'environ 15 ans. Leur durée de vie est souvent comprise entre 20 et 25 ans, mais avec possibilité de changer de compresseur en cours de route. Pour les maisons existantes, les systèmes air-air sont rentables uniquement dans le Québec méridional, dont Montréal, et pour les maisons bien isolées et étanches; alors que les systèmes eau-air (nappe phréatique) sont d'autant plus rentables que le climat est rigoureux, sans que la maison soit nécessairement bien isolée. Les systèmes air-air nécessitent toujours un chauffage d'appoint, superflu dans le cas des pompes eau-air bien dimensionnées.

Les pompes à chaleur sont souvent employées dans les édifices à bureaux et commerciaux, dans les hôpitaux et hôtels, où elles servent autant, sinon plus, à la climatisation des locaux qu'à leur chauffage, pour lequel elles utilisent principalement l'air vicié comme source froide. Au niveau industriel et agricole, elles peuvent servir autant à la génération du chauffage ou de la climatisation qu'à des procédés de production: séchage du bois, pasteurisation du lait, etc. Leur utilisation se généralise dans les édifices sportifs, en particulier les piscines couvertes. Les mêmes pompes à chaleur pourraient, par exemple, maintenir glacée une patinoire tout en chauffant une piscine voisine. Pour chauffer les piscines à ciel ouvert, les pompes thermiques (air-eau) sont fortement concurrencées par le chauffage solaire.

En définitive, les pompes à chaleur sont utilisées depuis longtemps dans tous les domaines et commencent seulement à pénétrer le secteur résidentiel sous l'effet des crises de l'énergie. Depuis 1927 où la première pompe à chaleur fut opérationnelle (dans une maison écossaise...), de nombreuses recherches sont encore en cours visant à les rendre plus efficaces et fiables afin d'obtenir toujours plus d'économies d'énergie.

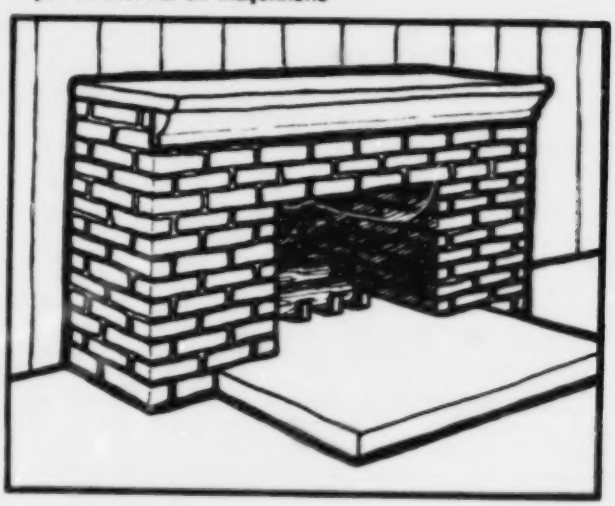
CHAUFFAGE AU BOIS

Ce mode de chauffage, qui dans certaines régions du Québec n'a jamais cessé d'être employé depuis l'arrivé des premiers colons, connaît actuellement une nouvelle vogue bien compréhensible. Le choix des systèmes et leur utilisation nécessitent cependant un minimum de précaution de la part des uilisateurs.

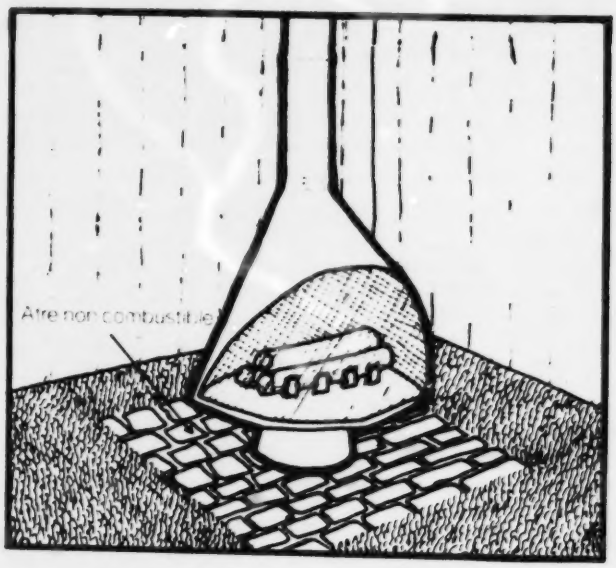
Les foyers traditionnels qui « réchauffent » si bien l'ambiance d'un intérieur sont hélas d'assez piètres modes de chauffage dont le rendement avoisine les 10%. S'ils réchauffent, par rayonnement, les personnes placées à proximité, ils aspirent par contre une très grande quantité d'air chaud de la maison, évacuée par la cheminée. La combustion très rapide des bûches chauffe donc surtout... l'extérieur. Des améliorations peuvent être cependant apportées élevant le rendement à 30% environ, en compensant les pertes d'air chaud par l'introduction d'air extérieur réchauffé après passage dans un circuit disposé derrière et au-dessus du foyer. Un tel circuit peut être parfois prévu pour un passage d'eau qui servira de préchauffage de l'eau domestique. Dans certains systèmes de poêles, la fermeture de vitrages pare-feu devant le foyer ralentit la vitesse de combustion des bûches tout en permettant de continuer à regarder danser les flammes. Les poêles non hermétiques ne présentent pas non plus de hauts rendements: 30% en moyenne.

Le système le plus performant est le poêle hermétique à combustion lente atteingant des rendements de 60 à 70%. Ces appareils en fonte ou en acier de bonne qualité possèdent des registres afin de contrôler l'entrée d'air. La plupart fonctionnent en rayonnant directement la chaleur, d'autres, à double enceinte, réchauffent l'air circulant entre

Foyer traditionnel en maçonnerie



Foyer en métal



les 2 enceintes. On distingue les poêles à passage direct de fumée et ceux à passage retardé de fumée, plus efficaces et sécuritaires car un déflecteur disposé dans la chambre de combustion allonge le circuit de fumée permettant une combustion plus efficace et empêchant les flammes de lécher le tuyau de raccordement. Il existe enfin des fournaises mixtes chauffant à l'huile et au bois. Le volume du poêle doit être bien évalué: un poêle trop grand sera vite encrassé par la créosote tandis qu'un poêle trop petit sera endommagé par la surchauffe.

Voici une approximation des volumes optimums en fonction de la surface à chauffer: pour des surfaces de 60, 90 et 140 m², le volume du poêle est respectivement de 60 à 70 litres, de 80 à 90 litres et de 100 à 190, selon qu'il est utilisé en appoint ou en chauffage principal. Des orifices percés dans les cloisons au plancher permettent à l'air chaud de mieux se répandre dans l'espace de la maison.

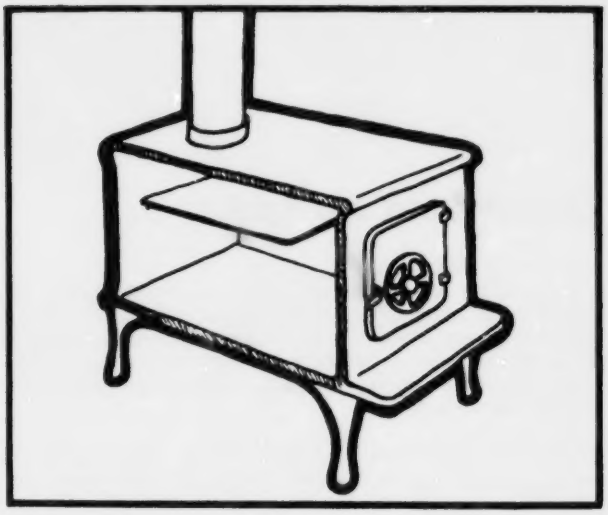
Le bois franc (hêtre, frêne, chêne bouleau, merisier, érable) est préférable au bois mou (épinette, pin, sapin) car, beaucoup plus dense, il assure une combustion bien plus efficace et longue qui justifie largement son coût plus élevé. Cela ne signifie pas que le bois mou est déconseillé, au contraire puisqu'il peut être très abondant et bon marché dans certaines régions. Une bonne combustion du bois se fait lorsqu'il contient moins de 20% d'eau. Or, le bois vendu généralement est de coupe récente, contenant trop d'eau. Il convient alors de l'entreposer, par exemple l'hiver pour l'utiliser l'hiver suivant, dans un espace aéré et couvert pour le protéger des pluies et des neiges. Le bois est

généralement vendu en cordé de 4 pi. × 16 po. × 8 pi.. Il est conseillé d'acheter des cordées de bûches de grosseur variée, cordées contenant alors plus de bois par unité de volume. En règle générale, pour que le système soit rentable, il ne faut pas que le prix d'une cordée de bois dépasse 150 fois le coût d'un litre d'huile. Il faut y inclure le prix du transport du bois qui, s'il dépasse un trajet trop long (de 50 km environ) fait perdre au système beaucoup de sa rentabilité.

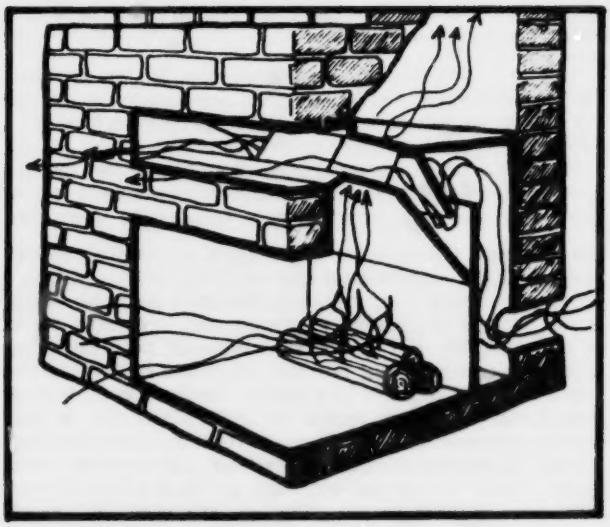
Les prix des poêles hermétiques à combustion lente, incluant les conduits, varient entre 600 et 2 000 $ en moyenne, main-d'oeuvre comprise. Il est possible d'acquérir un bon appareil pour environ 600 $. Il faut s'assurer que le poêle porte le sceau de certification d'un organisme reconnu: U.L.C., ACNOR ou CSA. Pour éviter tout risque d'incendie, fréquent pour ce type de chauffage (leur nombre a quadruplé en 10 ans), il faut que l'installation se conforme rigoureusement aux normes du fabricant et du code canadien du chauffage. Il est aussi important d'entretenir et d'utiliser le poêle suivant les spécifications du fabricant. Enfin, il faut avertir son assureur.

Des brochures d'information fournissent sur le sujet des renseignements précieux: « Le chauffage au bois en toute sécurité » éditée par la Société canadienne d'hypothèques et de logement, « Le chauffage au bois sans peur de l'incendie » éditée par le ministère des Affaires municipales du Québec. L'Office de la protection du consommateur prépare chaque année des dossiers sur le chauffage au bois. Enfin, une association de consommateurs très active au Québec, « Les amateurs de chauffage au bois de la Rive Sud », peut fournir diverses inormations utiles: C.P. 92, Boucherville, Québec J9B 5E6; téléphone: (514) 655-1711.

Poêle hermétique (vue en coupe)



Circulation d'air (vue en coupe)



LA BIOMASSE

La biomasse comprend, à l'exception des combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz), toutes les matières d'origine végétale ou animale et, par extension, les déchets domestiques et industriels. La biomasse peut dans certains cas être utilisée comme telle pour la combustion directe, ou être transformée en divers produits solides, liquide ou gazeux. Les applications sont multiples: chauffage, éclairage, cuisson, production d'électricité, propulsion de véhicules, etc... L'utilisation de la biomasse, qui va jouer au Québec un rôle de plus en plus important à l'avenir, ne se fait pas toujours sans difficulté, à travers différentes filières parfois complexes et coûteuses.

Bois brut

Le Québec possede d'immenses forêts contenant une énorme énergie potentielle. Jusqu'à présent, les arbres étaient surtout utilisés comme matière première pour la production de bois d'oeuvre (édifices, mobiliers) et de pâtes et papiers. Une gestion plus rationnelle de ce fabuleux réservoir d'énergie commence seulement à se mettre en place: meilleure utilisation des déchets de bois, plantations énergétiques d'arbres à croissance rapide à la place de forêts dégradées, coupes d'arbres jusqu'à présent jugées peu intéressantes, amélioration d'infrastructures de transport... etc.

La combustion directe du bois, offrant de l'énergie thermique, est la plus ancienne et courante utilisation de la biomasse, autant à des fins de chauffage résidentiel (voir chapitre « chauffage au bois ») qu'industriel. Au Québec, ce sont principalement les usines de pâtes et papiers et de bois d'oeuvre qui, parmi les plus grandes consommatrices d'énergie, emploient maintenant pour leurs propres besoins énergétiques l'énorme quantité de bois qu'elles laissent pour compte lors des diverses étapes d'exploitation.

Grâce aux résidus de bois, certaines industries atteignent l'autonomie énergétique: l'usine de pâtes et papiers Donohue est un modèle du genre, utilisant à Saint-Félicien une production combinée électrique et thermique (22,8 MW électriques, 70 MW thermiques). Pourtant plusieurs millions de tonnes de résidus sont encore inemployés et pourrissent sur place. Ils seront de plus en plus utilisés par les industries forestières qui, avec l'aide de subventions gouvernementales, pourront effectuer la conversion d'anciens systèmes à l'huile encore existants. Il existe aussi divers procédés récents de densifications des déchets de bois en briquettes ou en pains, de bonne teneur en énergie, facilement transportables, pour des applications en particulier de chauffage industriel ou résidentiel.

De nombreux édifices, autres que résidentiels et proches de sources d'approvisionnement en bois, peuvent aussi avantageusement utiliser le bois à des fins de chauffage, souvent par la conversion de fournaises à huile existantes. L'hôpital de Roberval a réalisé une telle conversion et utilise avec succès une fournaise centrale au bois. La combustion du bois peut encore servir à alimenter des centrales thermiques qui produisent de l'électricité. Les plus efficaces sont celles qui assurent une production combinée d'énergie thermique et électrique, grâce aux turbines mues par la vapeur d'eau.

Le bois fraîchement coupé contient souvent trop d'eau et nécessite des techniques d'entreposage ou de séchage occasionnant une dépenses d'énergie. Par ailleurs, comparativement aux autres combustibles fossiles, le bois a une teneur en énergie, par volume, bien plus faible. Cela pose le problème de son acheminement, le coût du transport risquant souvent de dépasser celui du bois transporté. La combustion directe du bois sur place pour des besoins thermiques reste donc l'opération offrant le meilleur rendement.

Bien que de rendement global moindre, les autres techniques étudiées plus loin, qui visent à transformer le bois en nouveaux combustibles solides, liquides ou gazeux, vont s'avérer doublement intéressantes: autant pour la plus grande facilité de transport de ces produits que pour leur utilisation de remplacement des combustibles fossiles.

Méthanol

C'est un alcool appelé parfois alcool de bois, en général utilisé comme carburant liquide et pouvant être obtenu à partir de gaz naturel, charbon et biomasse. Au Québec, c'est avant tout le bois qui en sera la matière première. Les techniques de transformation employées font d'abord appel à la gazéification du bois.

Pyrolyse et gazéification: Il résulte de la combustion classique du bois en présence d'air, des cendres, des vapeurs d'eau et du gaz carbonique, produits n'ayant plus aucune valeur énergétique. La chaleur de combustion est utilisée comme telle. La pyrolyse est, quant à elle, une technique de combustion sans aucun apport d'oxygène, donc d'air, empêchant la combustion complète du bois et qui monte à des températures plus élevées: les produits de combustion sont du charbon de bois et un composé liquide et gazeux, chacun pouvant à nouveau être employé comme produit combustible. La gazéification est une pyrolyse avec un léger apport d'oxygène qui fournit principalement un composé gazeux combustible. L'appareil permettant cette transformation est un gazogène. Durant la 2e guerre mondiale, en Europe, de nombreux véhicules roulaient grâce à ce gaz de bois issu de petits gazogènes (bombonnes fixées sur le toit). Tous les produits issus de la pyrolyse et de la gazéification, malgré leur modeste teneur en énergie, peuvent trouver de multiples applications: combustibles utilisés pour le chauffage industiel ou résidentiel, pour les centrales thermiques, certains véhicules,

etc. Le gaz de bois peut aussi être épuré et enrichi, donnant du gaz synthétique transportable à des distances plus grandes.

Pour produire le méthanol, le composé gazeux issu de la gazéification du bois est ensuite épuré; ses proportions relatives sont modifiées; à l'étape finale, le gaz de synthèse ainsi obtenu est pressurisé en présence d'un catalyseur à des températures élevées et devient liquide: c'est le méthanol. Ce processus de gazéification et de liquéfaction reste cependant complexe, coûteux et nécessite des unités centralisées de grande taille, situées à proximité immédiate des lieux d'extraction du bois. Au Québec, c'est à Saint-Juste-de-Bretenières que va être construit le premier centre de production de méthanol qui pourra fournir quelque 55 millions de litres par an de méthanol à partir de 100 000 tonnes de bois.

Le méthanol, utilisable comme carburant, pourrait graduellement alléger les importations de pétrole en étant mélangé à l'essence dans une proportion de 10 à 20% presque sans modification des moteurs actuels. L'essence s'appelle alors carburol ou gazole. Les premiers modèles « T » de Ford étaient initialement prévus pour fonctionner à l'alcool puis au carburol avant que les très faibles coûts du pétrole ne généralisent l'emploi de l'essence sur toute la planète. L'alcool est un carburant séduisant, moins polluant, et laissant une odeur plus agréable que l'essence, mais de teneur en énergie deux fois moindre. Un autre emploi possible du méthanol est sa transformation en un dérivé (le M.T.B.E.) qui, mélangé à l'essence dans des proportions de 15% environ, en élève l'indice d'octane, se substituant au plomb pour servir d'antidétonnant. À plus long terme, l'utilisation exclusive du méthanol nécessiterait soit une transformation complète des moteurs actuels, soit une transformation supplémentaire du méthanol en essence. À cette fin, les quantités de méthanol utilisées et donc, de forêts exploitées, seraient énormes. Déjà, si toutes les voitures au Québec fonctionnaient avec un mélange d'essence à 15% de méthanol, il faudrait environ 25 centres de production de méthanol de la taille de celui de Saint-Juste-de-Bretenières, utilisant annuellement 2,5 millions de tonnes de bois!

L'éthanol

Cet autre alcool de teneur en énergie légèrement supérieure au méthanol pourrait être utilisé de la même manière comme additif à l'essence. Il se produit à partir de matières premières sucrières (canne à sucre, betterave, topinambour), ou des céréales (maïs, avoine, blé) et même des pommes de terre, dont l'amidon est converti en sucre. Le procédé de production de l'éthanol est le même que celui employé pour obtenir des boissons alcoolisées: les matières premières sont traitées pour produire une solution sucrée qui fermente en présence de bactéries en milieu aérobie (présence d'air). Ensuite, une distillation, c'est-à-dire une succession d'évaporation et condensation de la solution fermentée, donne de l'éthanol et un peu d'eau qu'il est facile d'éliminer. Le Brésil, par exemple, produit déjà une grande quantité d'éthanol à partir de la canne à sucre et compte à long terme faire rouler tous ses véhicules avec un mélanger essence-éthanol d'environ 20%. Au Québec, l'éthanol peut s'avérer intéressant si de nombreuses recherches en cours découvrent des procédés rentables de transformation des éléments du bois (cellulose, hémicellulose) en matières sucrières.

Le méthane

C'est un gaz combustible créé à partir d'une technique de digestion (ou fermentation) anaérobie, c'est-à-dire en l'absence d'air: les jardiniers connaissent bien le phénomène de décomposition des matières organiques en présence d'air (aérobie), donnant de l'humus et du compost. La digestion anaérobie est aussi une décomposition des matières organiques par des bactéries dont une faible dose est souvent inoculée au départ, mais en l'absence d'air et à des températures de 35 à 65° C. Elle produit un gaz combustible contenant surtout du méthane avec un peu de gaz carbonique appelé biogaz ou gaz naturel selon sa teneur en méthane. Le processus s'effectue dans des digesteurs, ou biodigesteurs, qui peuvent en général produire le gaz quelques jours après l'introduction des matières premières. Ce processus doit s'effectuer dans des conditions optimales et nécessite souvent un contrôle soutenu. Le bois se prête très mal à ce genre d'emploi. En général, les matières premières les plus adéquates utilisées dans les digesteurs sont la « biomasse humide » souvent à l'état de boues: déchets agricoles, fumiers animaux, cetains déchets d'usines, sous-produits de l'industrie alimentaire, résidus de filtration, etc. Les matières premières traitées, qui sont en général des causes importantes de pollution (fumiers, déchets divers), deviennent des produits épurés pouvant servir de fertilisant du sol. Des recherches portent même sur l'extraction des protéines contenues dans ces produits afin de les utiliser comme aliments pour animaux. Il faut en conséquence envisager la digestion anaérobie sous ses multiples aspects: production de gaz, dépollution, production d'engrais agricoles.

Il existe des digesteurs de tout taille, primitifs ou très sophistiqués. Les innovations sont dans ce domaine très rapides. En Asie, les digesteurs sont légion et fournissent une énergie décentralisée et bon marché. Au Québec, la digestion anaérobie peut être très attrayante pour diverses industries rejetant des déchets organiques, en particulier les usines d'épuration des eaux et de produits alimentaires. Mais ce sont surtout les fermes qui devraient en profiter afin tout à la fois de minimiser les problèmes de pollution des fumiers, d'obtenir à bon compte des engrais et de l'énergie du méthane, utilisée pour le chaffage des espaces et de l'eau, pour la cuisson, pour certains véhicules, pour l'éclairage. L'autosuffisance énergétique pourrait parfois être obtenue. Le volume d'un digesteur reste néanmoins important par rapport à l'énergie fournie. Pour fixer les idées: un digesteur traitant en permanance 3 tonnes de fumiers (par exemple, 36 tonnes sont traitées dans l'annee) produit 6 m^3 de gaz par jour, équivalent à 3,5 litres d'essence environ.

La tourbe

C'est une substance organique due à la décomposition très lente de la végétation morte en milieu anaérobie (absence d'oxygène), qui s'effectue depuis la dernière ère glacière, soit environ 10 000 ans. Il s'agit donc, contrairement par exemple au bois dont certaines essences sont exploitables au bout de 10 ans, d'une richesse non renouvelable. La tourbe toujours formée à la surface de la terre est faite de plusieurs couches: la première étant constituée de végétation vivante, la deuxième est une tourbe très jeune de structure lâche laissant encore apparaître les formes originelles des végétations mortes, enfin la troisième est faite de tourbe de plus en plus ancienne au fur et à mesure qu'elle est profonde, prenant un aspect spongieux et une couleur noire. À toutes les étapes, la tourbe contient pas moins de 95% d'eau environ qui provient des eaux de pluie.

Le potentiel de tourbe estimé au Québec est énorme: la superficie des tourbières, évaluée à environ 13 000 km², est suffisante pour remplacer tout le pétrole consommé au Québec durant 20 ans. Les tourbières sont réparties un peu partout au Québec. C'est pouquoi la tourbe, jusqu'à présent extraite à des fins horticoles, commence à intéresser bien du monde, en regard de ses possibilités énergétiques. Son extraction peut être cependant un travail coûteux et de longue haleine même si la tourbe présente l'avantage d'être en surface: il faut d'abord étudier la qualité et la quantité de tourbe à extraire, aménager ensuite une infrastructure de surface pour la transporter (routes, voies ferrées) et enfin préparer les vocations futures des terrains débarrassés de leur tourbe afin qu'ils ne deviennent par des marécages ou étangs. L'importance de l'eau contenue dans la tourbe est un autre obstacle d'envergure: il faut d'abord drainer le plus d'eau possible sur les lieux mêmes d'extraction, ensuite utiliser divers procédés de séchage qui consomment de l'énergie: le séchage solaire de la tourbe est une possibilité.

Les diverses couches inférieures sont utilisées: hachées ou broyées et mélangées entre elles en forme de pain combustible de qualité énergétique comparable au charbon et moins polluant. L'emploi de la tourbe se prête à diverses applications: alimentation de centrales électriques, production de gaz combustibles (gazéification de la tourbe), de méthanol et même utilisation à des fins de chauffage résidentiel par la formation en briquettes de tourbe séchée et compactée pouvant alors concurrencer sérieusement le bois. Donc l'utilisation de la tourbe, encore au stade de projet, risque fort de connaître à l'avenir au Québec une expansion considérable si l'extraction et la dessiccation de la tourbe deviennent des procédés rentables.

Déchets urbains

La quantité de déchets domestiques et de certains déchets industriels rejetés tous les jours est énormes et possèdent des qualités énergétiques insoupçonnées. Ainsi chaque rejette environ 1 kg de déchets quotidiennement (papiers, cartons, matières organiques, plastique, etc...) dont la valeur énergétique équivaut à environ 0,5 kg de charbon. Cependant, l'exploitation de ces déchets ne peut se faire qu'à grande échelle. Il existe souvent dans les grandes villes des incinérateurs à ordures prévus surtout pour régler les problèmes de pollution engendrés par les déchets, gaspillant une grande quantité de chaleur. Or, celle-ci devrait être récupérée pour chauffer des édifices.

À Montréal est en construction une infrastructure de tuyaux en acier inoxydable acheminant la vapeur d'eau sous pression créée dans l'incinérateur d'ordures du centre-ville pour chauffer une vingtaine de gros édifices à bureaux munis d'un système de dépressurisation des vapeurs. D'une puissance de 80 MW, cet incinérateur collecte les ordures d'environ 1 million d'habitants de Montréal. La distribution de chaleur vers les édifices débuterait en automne 1982. Le coût total aura été d'environ 8,5 millions de dollars. En général, cela exige des concentrations humaines importantes, souvent d'au moins 100 000 personnes.

Conclusion

La biomasse constitue pour le Québec, compte tenu de sa quantité, sa variété et sa versatilité, un atout majeur dans le développement énergétique des prochaines décennies. Cependant, son développement est encore souvent ralenti par trop de contraintes technologiques et financières. La recherche scientifique doit jouer dans ce domaine un rôle très important pour créer et éclaicir les avenues technologiques les plus sérieuses et rentables (densification du bois, gazéification, transformation du bois en éthanol, digesteurs, extraction de la tourbe, cultures d'algues à haute teneur énergétique, etc...). Et qui sait, lorsqu'on voit à quelle vitesse le charbon a pris la place du bois, et le pétrole celle du charbon, à quelle allure la biomasse va-t-elle se substituer au pétrole?

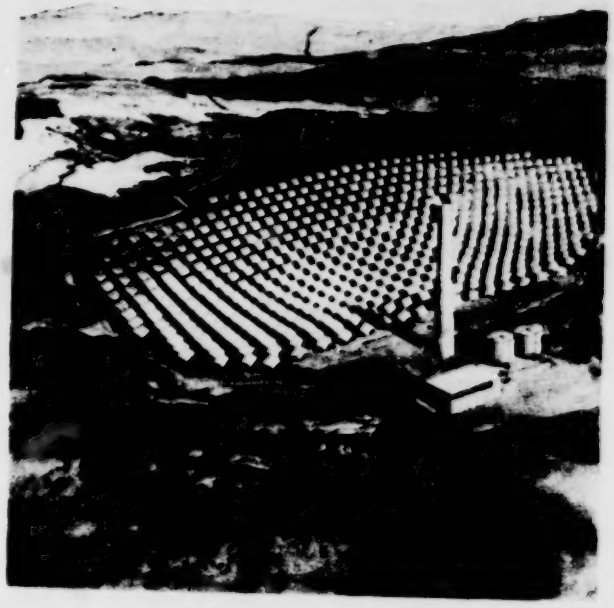
AUTRES ÉNERGIES ET TECHNOLOGIES NOUVELLES

Centrales solaires

En 1970, à Odeillo en France, était achevé le plus grand four solaire au monde (initié par M. Félix Trombe) à des fins de recherches scientifiques utilisant de hautes températures : une multitude de miroirs (ou réflecteurs) réfléchissent les rayons directs du soleil sur une immense surface parabolique qui les concentre alors sur un espace très réduit atteignant des températures voisines de 4 000° C ! Tous se passe comme si cet espace 1 000 fois plus petit que la surface totale des miroirs recevait 1 000 fois plus de soleil. En 1976, les mêmes miroirs étaient utilisés pour chauffer un réservoir dont le liquide transformé en vapeur actionnait des turbines pour la production d'électricité. La première centrale solaire était créée.

Plusieurs autres sont maintenant en construction au Japon, aux États-Unis et en France (Thémis I). Par exemple, la centrale Thémis possèdera 500 réflecteurs de 50 m² chacun (25 000 m² au total !). Ceux-ci, encore appelés héliostats, sont disposés comme autant de spectateurs devant une scène : la tour. Au moyen d'un dispositif sophistiqué contrôlé par ordinateur leur permettant des orientations et inclinaisons optimales selon la course du soleil, ces héliostats réfléchissent à tout moment les rayons directs du soleil vers la tour. Cela permet le chauffage très élevé d'un produit (eau, liquide organique, sel ou métal fondu... etc.) dont les vapeurs actionnent les turbines. Un stockage de l'énergie thermique est prévu généralement par sels à chaleur latente. Le kWh électrique fourni par de telles centrales revient de 10 à 15 cents. C'est encore assez cher, mais déjà rentable dans certains pays du tiers-monde où des régions désertiques et torrides serviraient à une production électrique intéressante. Il existe aussi des centrales solaires de plus petite taille en forme de surface réfléchissante parabolique circulaire ou linéaire, orientable selon la course du soleil, concentrant les rayons sur un volume réduit placé à la focale de la parabole. Au Québec, les centrales solaires, compte tenu de leur coût encore très élevé, surtout par rapport à l'hydro-électricité, risquent d'avoir un avenir hypothétique.

Centrale solaire « Thémis »



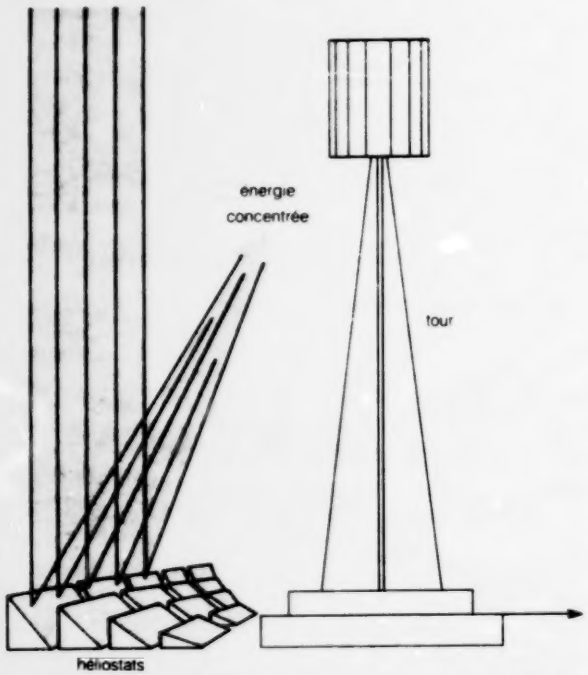
Photopiles

Ce sont des capteurs solaires qui convertissent les rayons visibles du soleil, non pas en chaleur, mais directement en électricité, avec des rendements voisins de 15%. Cet effet, appelé photovoltaïque, est dû à la propriété physico-chimique de certains corps comme le silicium. Mais le principal obstacle à la prolifération de ces capteurs est leur prix de revient actuellement prohibitif, ramenant le kWh à plusieurs dollars. Des recherches nombreuses sont en cours dans le monde entier, visant à un abaissement des coûts actuels de 50 à 100 fois, ce qui n'est pas impossible lorsqu'on pense à l'évolution des prix des petites calculatrices et des micro-ordinateurs. C'est donc un système de production électrique encore trop coûteux mais pouvant devenir plus attrayant à l'avenir, soit par la création de centrales électriques, en particulier dans des régions désertiques à fort ensoleillement (expériences effectuées par les États-Unis), soit plutôt à travers une application décentralisée au niveau des résidences. Les photopiles sont déjà souvent utilisées par les satellites de télécommunications et certains postes isolés. Elles pourraient faire bon ménage avec les éoliennes, le stockage de l'énergie étant semblable, le plus souvent constitué de batteries d'accumulateurs au plomb. Ces systèmes combinés utiliseraient alors toutes les ressources du soleil et du vent.

Mini-centrales hydrauliques

Elles fournissent de l'électricité en harnachant de petites rivières au moyen de barrages et conduites forcées. Le débit d'eau et la hauteur de chute (même faible) actionnent alors les turbines. Ce sont des répliques des centrales d'Hydro-Québec, en miniature. Elles n'ont rien de nouveau et furent même nombreuses à une époque antérieure à l'édification de centrales électriques géantes et à l'importation massive de pétrole. Il s'agit donc plutôt d'une forme

Effet de concentration



Les centrales à héliotour consistent en une chaudière thermique, disposée au sommet d'une tour, au centre d'un champ couvert de miroirs orientables qui concentreront donc vers elle le rayonnement reçu par un très vaste territoire. Les températures atteintes peuvent alors être énormes et alimenter en vapeur des turbines électrogènes de grande puissance.

d'énergie redécouverte permettant d'alimenter parfois totalement en électricité des résidences, hameaux, ou villages, en particulier ceux éloignés des réseaux publics et situés à proximité de rivières ou torrents à faible hauteur de chute. Ces centrales hydro-électriques miniatures peuvent profiter de technologies récentes permettant d'harnacher des rivières à très faible hauteur de chute.
Les investissements (barrages, conduites forcées, turbines, etc.) sont assez élevés et se font surtout à l'échelle des collectivités.

Énergie des vagues

Il s'agit indirectement d'énergie éolienne, les vagues étant le produit du vent sur la surface des océans. Il est possible d'en recueillir de l'énergie électrique et d'une manière quasi constante, malgré les fluctuations climatiques. Il faut que les systèmes soient assez éloignés des rives, à des endroits où les fonds marins sont bas, pour éviter toutes interférences. Ces systèmes de production électrique par les vagues sont encore à un stade expérimental. Deux systèmes principaux sont actuellement à l'étude : le premier est une ligne de « canards » flottant côte à côte et dont le mouvement de bascule actionne un vilebrequin qui transmet un mouvement rotatif à l'axe d'une génératrice électrique. Le second, appelé radeau à clapets, est fait de cylindres verticaux dans lesquels l'eau monte et descend en fonction des vagues actionnant des pistons faisant tourner la génératrice électrique ou encore les pistons compriment de l'air dirigé vers des turbines. De nombreux problèmes techniques se posent encore, concernant en particulier la corrosion des métaux par l'eau de mer et la stabilité des systèmes en milieu souvent hostile. Ces systèmes pourront être utilisés pour fournir de l'électricité à des phares, balises, plates-formes de forage et, dans certaines baies, servir en outre de brise-lame portuaire (les vagues traversant ces systèmes étant fortement aplanies), solution simultanée qui rentabiliserait très vite ce genre d'application.

Énergie des marées

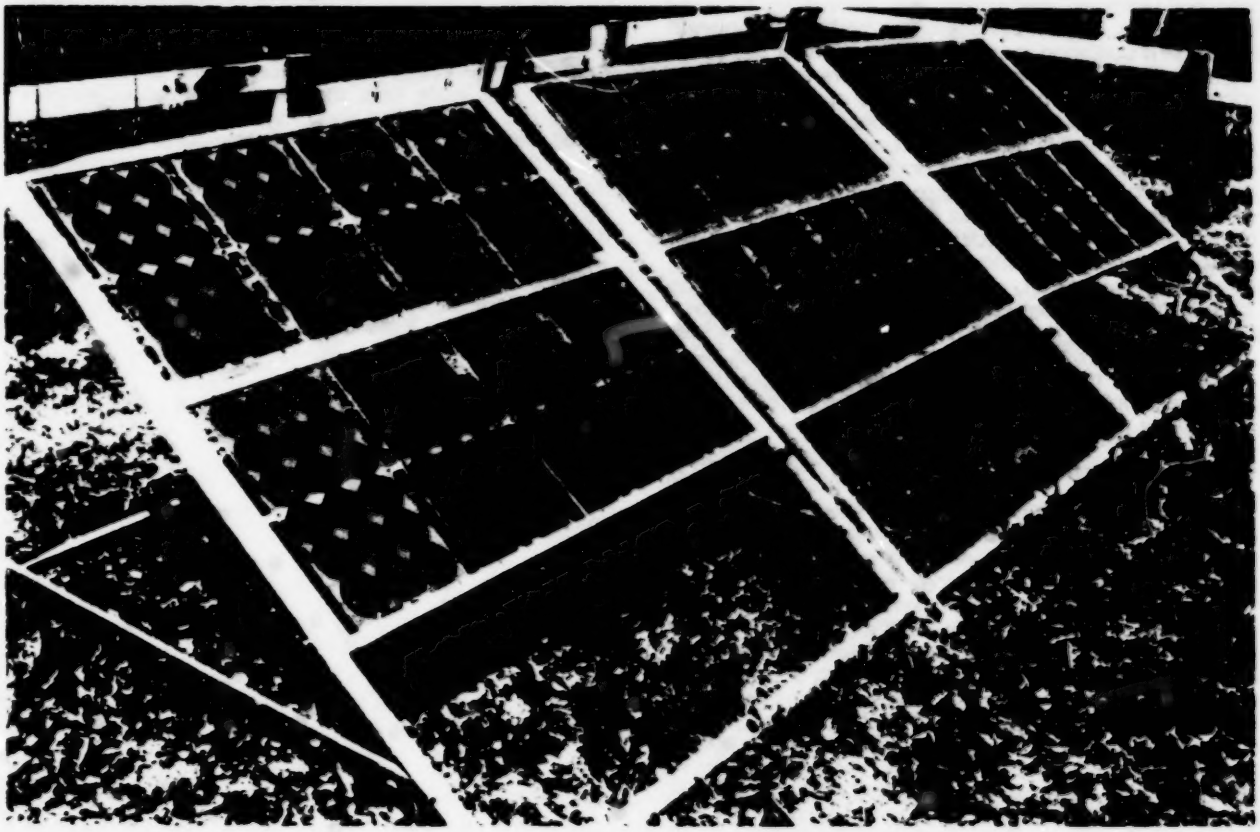
Les marées, ces mouvements incessants de flux et reflux des océans vers les côtes, sont dues à l'attraction de la lune attirant en quelque sorte les énormes masses d'eau en fonction de ses révolutions autour de la terre. L'attraction du soleil joue ici un rôle négligeable. Les classiques centrales hydro-électriques ne nécessitent pas toujours une bonne hauteur de chute d'eau pour actionner efficacement les turbines afin de produire l'électricité. En effet, la puissante centrale de Beauharnois est construite au fil des eaux du Saint-Laurent dont le formidable débit fait tourner les turbines, compensant ainsi la très faible hauteur de chute. De la même manière les centrales marémotrices, sorte d'immenses digues refermant les baies, produiraient de l'électricité grâce à l'important débit d'eau engendré par les marées qui les traversent. Ces centrales peuvent être prévues soit pour laisser, toutes vannes ouvertes, passer le flux marin puis harnacher le reflux qui actionne alors des turbines classiques, soit utiliser des turbines à double sens profitant à la fois de l'énergie du flux et du reflux, toutefois avec une puissance de crête plus faible. La seule centrale de grande taille construite au monde est celle de la Rance en Bretagne (200 mégawatts), proche du Mont Saint-Michel où les marées très importantes se déplacent à la vitesse d'un cheval au galop...

Au Canada, de nombreuses études de faisabilité portent sur la baie de Fundy, la plus intéressante au monde pour asservir les marées à des fins énergétiques. Au Québec, c'est la baie d'Ungava qui semble s'y prêter le mieux. Pourtant, compte tenu des coûts de construction plus élevés en général que ceux des centrales hydro-électriques classiques, de l'éloignement important, des problèmes posés en milieu arctique québécois et enfin des incertitudes qui règnent sur les conséquences possibles sur l'environnement, ce type de centrale risque de ne pas voir le jour au Québec avant longtemps.

Géothermie

Là encore le soleil n'est pour rien dans cette forme d'énergie offerte par la terre elle-même. En effet, nous sommes confortablement installés, souvent sans le savoir, sur des plaques (une douzaine au total sur la planète, supportant les continents et les océans) qui « flottent » sur le magma terrestre. Celui-ci atteint des températures énormes. Ces plaques se déplacent de quelques centimètres par an, faisant tranquillement dériver les continents, se frottent entre elles et parfois se chevauchent, occasionnant dans ces zones « sensibles » les tremblements de terre, les éruptions de volcans et autres calamités. Dans ces zones sensibles existent des nappes liquides ou gazeuses ayant récupéré de la chaleur souterraine, les geysers étant une manifestation à l'air libre de ces nappes. Cette chaleur peut être extraite par forage des nappes et servir à la production d'électricité (centrales géothermiques). Mais il est en général plus rentable d'acheminer directement cette chaleur, par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur, vers les

Groupe de cellules photovoltaïques



résidences pour leurs besoins de chauffage. Rien d'étonnant qu'en Islande, île volcanique par excellence, la plupart des habitations soient chauffées grâce aux sources d'eau chaude et de vapeur allant de 190 à 350° C. Ces nappes d'eau chaude ou vapeur sont parfois retenues sous des couches sédimentaires profondes. Ainsi autour de Paris, 12 000 foyers sont chauffés par la géothermie. Au Canada, les grandes Rocheuses sont riches en sources chaudes mais éloignées des centres de consommation. Au Québec, bien que les recherches ne soient pas completes, il semble exister des sources d'eau chaude dans les couches sédimentaires, très peu importantes et situées... surtout sous le Saint-Laurent. La géothermie risque en conséquence d'avoir un avenir assez limité au Québec.

Hydrogène

Toute l'eau de la planète, des lacs, rivières ou océans, toute l'eau que l'on boit, contient à l'état latent un puissant combustible : l'hydrogène. On l'extrait en général par électrolyse de l'eau, procédé qui nécessite une depense non négligeable d'électricité. Pourquoi produire de l'hydrogène s'il faut perdre de l'électricite ?

Parce que l'hydrogène est facilement entreposable et transportable, notamment par pipeline, et peut être utilisé comme carburant de remplacement du pétrole dans ses multiples applications : propulsion des véhicules, d'avions, de bateaux, chauffage des édifices, etc. L'hydrogène peut même être retransformé en électricité à travers des piles à combustible. L'électricité provenant des surplus hydroélectriques ou de la création de centrales jugées jusqu'à présent trop éloignées des lieux de consommation, pourraient contribuer à produire de l'hydrogène, nouveau carburant non polluant.

Sur un autre plan l'hydrogène, comme le pétrole, est une matière première précieuse pour les industries chimiques, ce qui souligne l'étroite relation entre l'économie et l'énergie.

Le Québec se trouve dans une position de force dans ce nouveau marché puisqu'il dispose d'électricité à prix concurrentiel et d'une avance technologique dans le secteur de l'électrolyse. Des investissements importants sont consentis pour que se développe graduellement toute une technologie nouvelle de production, transport, stockage et utilisation de l'hydrogène autant à des fins énergétiques qu'industrielles. Les Conseil de l'industrie et de l'hydrogène (CIH) coordonne et stimule les activités des divers intervenants pour un développement harmonieux de l'hydrogène.

Les piles à combustible

Comme les piles classiques ou les batteries de voitures, elles convertissent l'énergie chimique d'un combustible en électricité. La différence fondamentale est qu'elles ne subissent aucun changement matériel et transforment en électricité l'énergie chimique d'un combustible provenant de l'extérieur, tout comme un moteur classique transforme en

énergie mécanique un carburant. De plus, ces piles sont non polluantes et sont constituées, comme les batteries d'automobiles, en modules possédant ainsi une très grande souplesse d'utilisation : propulser électriquement des voitures, chauffer des maisons ou constituer des centrales électriques de plus ou moins grande taille et de bon rendement. Le seul problème est qu'elles sont encore coûteuses et que le combustible utilisé est, d'une part, de l'oxygène et, d'autre part, de l'hydrogène dont on vient de voir que l'extraction nécessite une dépense d'énergie assez coûteuse. À ce titre, l'hydrogène peut être utilisé comme transformation temporaire de l'électricité par électrolyse, puis reformation d'énergie électrique à travers les piles à combustibles, cela moyennant un rendement global assez bas. Une autre technologie, intéressante pour le Québec et encore à l'état expérimental, porte sur l'hydrogène contenu dans les gaz issus de la biomasse comme combustible des piles, accroissant du même coup le potentiel d'utilisation de la biomasse. Quoi qu'il en soit, cette intéressante technologie risque aussi de se développer, au Québec, avec lenteur.

Chauffage collectif

Il ne s'agit pas d'une nouvelle forme d'énergie mais, d'une manière plus rationnelle, de produire l'énergie thermique : les centrales de chauffage collectif permettent d'alimenter plusieurs quartiers d'habitations et autres édifices au moyen d'une infrastructure de canalisations dans lesquelles circulent de l'eau chaude ou des vapeurs d'eau sous pression. Des échangeurs de chaleur permettent le transfert de chaleur dans les locaux. Ces centrales se substituent donc à de multiples fournaises domestiques, sont moins polluantes, plus efficaces, rentables et très versatiles : pour le chauffage de l'eau, elles peuvent utiliser l'huile autant que le bois, le charbon, le gaz, les déchets urbains, et autres produits de la biomasse. Souvent utilisé en Europe et très courant dans les pays de l'Est, ce mode de chauffage collectif, appelé aussi chauffage par îlots, est peu employé en Amérique du Nord. Il est surtout rentable de le prévoir pour des quartiers neufs afin de créer l'infrastructure de distribution au bon moment.

Cogénération

Il s'agit là encore d'une manière plus rationnelle d'employer l'énergie : les nombreuses centrales thermiques qui fournissent de l'électricité, qu'elles soient alimentées au charbon, gaz, huile, bois, tourbe, déchets, etc. ou qu'elles soient des centrales solaires, fonctionnent à des rendements faibles de 25 à 30%, une grosse partie de l'énergie thermique employée pour produire des vapeurs actionnant les turbines, étant gaspillée. Celle-ci pourrait être récupérée et servir au chauffage d'édifices voisins toujours grâce à une infrastructure de canalisation d'eau ou vapeurs chaudes sous pressions. Les rendements atteindraient alors de 60 à 70%, comprenant la production combinée d'énergie électrique et thermique (comme l'usine Donohue à Saint-Félicien ; voir « biomasse »).

CONCLUSION

Les énergies nouvelles vont inéluctablement jouer un rôle dominant dans le monde énergétique de demain. Or, c'est aujourd'hui que se prépare l'avenir, que se dessinent les grandes avenues de développement et que s'élaborent les technologies prometteuses.

C'est aujourd'hui qu'un grand nombre de particuliers pourraient déjà profiter de formes rentables d'énergies nouvelles. Afin de les aider à effectuer les choix les plus adaptés, ce document a tenté de brosser une vision générale des énergies nouvelles en mettant en relief leur diversité, leur versatilité ainsi que leur degré de complexité technologique.

Pour aller plus loin dans la découverte d'une ou de plusieurs formes d'énergies nouvelles, les intéressé(e)s peuvent avoir accès à divers documents spécifiques disponibles à :

Accueil et renseignements
Énergie et Ressources Québec
200-B, chemin Sainte-Foy, 7e étage
QUÉBEC
G1R 4X7
Tél. : à Québec 643-1813 ;
ailleurs au Québec 1-800-463-4558.

LEXIQUE

(par Glenda Wagner)

TABLE DES MATIÈRES

Énergie nouvelle

Énergie de la biomasse

Énergie éolienne

Énergie géothermique

Énergie hydraulique

Énergie marémotrice

Énergie nucléaire

Énergie solaire

Énergie thermique

Énergie nouvelle

Énergie nouvelle

Les **Énergies nouvelles** (appelées ainsi puisque la technique d'utilisation pour produire de l'énergie s'harmonise mieux avec l'environnement), les énergies redécouvertes (faisant référence aux ressources exploitées autrefois) sont toutes des **énergies nouvelles**: soit par la ressources exploitée, soit par la technique d'utilisation afin d'obtenir une nouvelle forme d'énergie facile à transporter, à transformer ou à utiliser localement. Ces sources d'énergie sont, pour la plupart, bienconnues du grand public et sont, dans la majorité des cas, renouvelables.

Elles sont, entre autres:

- **l'énergie de la biomasse**
  (énergie obtenue à partir de la matière vivante, végétale ou animale, que contient le global terrestre.)
- **l'énergie éolienne**
  (ou énergie cinétique du vent, tirée de la force du vent.)
- **l'énergie géothermique**
  (énergie calorifique contenue dans la croûte terrestre.)
- **l'énergie hydraulique**
  (énergie fournie par une chute d'eau, les courants, les marées.)
- **l'énergie des vagues**
  (énergie contenue dans le mouvement berçant des vagues.)
- **l'énergie marémotrice**
  (énergie provenant du mouvement oscillatoire des eaux de la mer dû à l'attraction de la lune essentiellement.)
- **l'énergie nucléaire**
  (énergie produite et libérée par un changement dans le noyau des atomes fourni par une réaction nucléaire (fission, fusion.)
- **l'énergie solaire**
  (l'énergie contenue dans le rayonnement ou la lumière du soleil.)
- **l'énergie thermique**
  (énergie calorifique ou chaleur résultat du mouvement des atomes et des molécules à l'intérieur d'un corps.)

Ces énergies, en plus d'être rapidement renouvelables, sont, à plusieurs occasions, mises en valeur par la participation des individus, des groupes de citoyens ou d'entreprises privées.

Enfin, elles offrent, d'une certaine manière, une possibilité d'autonomie individuelle ainsi qu'une grande autonomie du Québec. Car, devant la montée des coûts des énergies conventionnelles, ces énergies nouvelles pourraient être une solution de remplacement.

énergie cinétique

Énergie contenue dans un corps en mouvement.

énergie mécanique

Énergie produite par le travail des machines.

filière

Technologie ou processus utilisés lors de la valorisation d'une ressource pour une fin énergétique.

technologie adaptée

Technologie dont l'acquisition ne requiert par un changement des fondements culturels des individus ou des groupes qui l'adoptent jusqu'elle optimise les infrastructures locales sans les modifier fondamentalement.

Biomasse

aérobie

Se dit d'un organisme ou d'un processus biologique (par exemple, la fermentation) **qui ne peut se développer qu'en présence d'air ou d'oxygène.**

alco-essence

(gas-oil, terme anglais; **gazole**, terme français synonyme)

Mélange, produit à partir d'alcool (méthanol, éthanol, etc.) et d'essence, utilisé comme combustible et comme carburant dans les moteurs à essence ou Diesel.

algues

Plantes vivant dans les eaux douces ou salées, pourvues de **chlorophylle** qui, tout en donnant à la plante aquatique sa couleur verte, est responsable de la photosynthèse.

anaérobie

Se dit d'un organisme un d'une processus biologique (par exemple, la fermentation) qui se développe normalement dans un milieu dépourvu d'air ou d'oxygène.

biogaz

Caractérise les gaz, généralement combustibles, produits lors de la fermentation de diverses matières organiques au moyen d'organismes vivants (bactéries, levures, etc.). Le biogaz se compose, entre autres, de 50 à 70% de méthane (gaz incolore et inodore, inflammable, formant un mélange explosif avec l'air), de gaz carbonique et de vapeur d'eau.

biomasse

Elle englobe toutes les matières vivantes d'origine végétale ou animale de la surface du globe terrestre.

Ainsi, dans le vocabulaire énergétique, on retient généralement comme étant de la biomasse: les arbres, les plantes terrestres et aquatiques, la tourbe, les rebuts engendrés par l'activité de l'homme, c'est-à-dire les déchets agricoles, forestiers et urbains ainsi que les résidus des usines de traitement ou d'épuration de l'eau.

biométhane

Gaz produit par la fermentation de matières organiques en milieu anaérobie (milieu dépourvu d'air) au moyen d'organismes vivants (bactéries, levures, etc.) par voie biologique. Il est un des éléments formant le biogaz.

bois

Matière fibreuse qui constitue la partie interne du tronc et des grosses branches d'un arbre. Sec, il est un bon combustible.

charbon de bois

Combustible solide et noir, d'origine végétale. Ce résidu carboné est produit par la transformation (à l'aide de la pyrolyse, processus de combustion sans apport d'oxygène) de la matière végétable sous l'effet d'un brûlage lent et incomplet.

digesteur

Appareil étanche, cuve, réservoir, etc. dans lequel ont fait fermenter ou digérer, à l'abri de l'air (anaérobie), des déchets animaux, végétaux ou toute autre matière organique, pour obtenir des gaz.

énergie de la biomasse

Énergie obtenue à partir de la matière vivante, végétale ou animale, que contient le globe terrestre.

Ainsi, nous avons:

1. la biomasse forestière, ex.: le bois.
2. la biomasse agricole, ex.: les déchets de récoltes (paille)
   les déchets d'animaux (purin).
3. la biomasse urbaine, ex.: les déchets solides des résidences, des commerces, etc.; les eaux usées.
4. la tourbe
5. la biomasse aquatique, ex.: les algues.

énergie des déchets

Énergie produite par des procédés de transformation thermique, mécanique ou biologique, nous permettant ainsi d'obtenir de la chaleur ou des combustibles à partir des déchets.

Par exemple, la sciure (résidu du bois) peut être utilisée comme combustible. Les déchets urbains, plus spécifiquement les ordures ménagères, renferment des produits combustibles (papiers, cartons, bois, cuirs, matières plastiques) susceptibles de dégager de la chaleur.

La fabrication du méthane (gaz combustible) sur la ferme est une autre voie de récupération de déchets, ici, d'élevage.

éthanol (syn. alcool éthylique)

Alcool susceptible de constituer un carburant végétal transportable et liquide.

Presque tout l'éthanol est produit par la fermentation d'une biomasse riche en sucre ou en amidon (canne à sucre, betterave sucrière) au moyen d'organismes vivants (bactéries, levures, etc.). L'attrait pour ce produit découle de ses possibilités d'utilisation: il peut être un carburant liquide utilisé comme tel, ou être mélangé à l'essence et deviendra alors de l'alco-essence.

fermentation (syn. digestion)

Transformation de substances organiques (qui entrent dans la composition de la matière vivante) sous l'influence d'enzymes produits par des micro-organismes permettant un dégagement de gaz, d'alcool et de chaleur.

Les fermentations se font en milieu aérobie (présence d'air et d'oxygène) ou en milieu anaérobie (en absence d'air et d'oxygène).

gaz des marais

Gaz découvert au XVIII[e] siècle par des scientifiques, qui brûle à la surface des étangs. Ce phénomène biologique naturel est le produit d'un gaz, principalement composé de méthane, qui se forme par la fermentation anaérobie de la vase des marais contenant un haut taux de matière organique.

gazéification

Transformation complète d'un produit liquide de solide en gaz combustible appelé gaz de synthèse ou de ville.

gazogène

Instrument à l'intérieur duquel se fait la gazéification. Sorte de chaudière hermétique dans laquelle on maintient le brûlage d'une matière végétale avec un faible apport d'oxygène pour ensuite y retirer le gaz produit qui est combustible.

gaz synthétique (autres appellations : gaz de synthèse, gaz de ville, gaz pauvre)

Gaz obtenu par la gazéification de la matière organique dans un gazogène.

hydrogène

Il est le plus léger des gaz connus, très abondant dans la nature et le principal constituant du soleil. Combiné à l'oxygène, il se présente sous forme d'eau. On le retrouve aussi dans les produits de la biomasse. L'hydrogène, utilisé comme combustible, a des propriétés calorifiques intéressantes. D'un point de vue environnemental, il est tout aussi intéressant puisque lorsqu'il est brûlé, il produit de la vapeur d'eau.

hydrolyse

Processus de décomposition d'un produit chimique (par exemple, du gaz du synthèse) par l'addition de molécules d'eau en vue de le transformer en de nouveaux produits (par exemple, du méthanol).

méthane (appelé autrefois Formène, gaz des marais)

Gaz incolore, inodore, excellent combustible, et principal constituant du gaz naturel et du biogaz. Lorsqu'il résulte de la fermentation anaérobie d'une matière organique, on l'appelle biométhane.

méthanol (synonymes : alcool de bois, alcool méthylique)

Alcool pouvant servir de carburant végétal transportable et liquide comme substitut de l'essence pour les véhicules. Cet alcool peut être produit à partir de la transformation du gaz naturel, du charbon ou encore de la biomasse. Associé à l'utilisation énergétique du bois, il a longtemps été appelé alcool de bois.

photosynthèse

Processus de captage d'énergie possible grâce à la chlorophylle des plantes et à la lumière solaire. Il permet à la nature végétale d'emmagasiner de l'énergie lumineuse pour ensuite, par un procédé naturel, la convertir en énergie chimique.

En résumé, la plante convertit, grâce à l'énergie de la lumière, le gaz carbonique et l'eau en oxygène et en glucides (substances organiques). Les substances organiques obtenues sont des sucres ou des polysaccharoses. L'énergie qu'elles recèlent peut être dégagée par combustion, gazéification, pyrolyse ou fermentation.

purin

Partie liquide du fumier constituée par les urines et les déjections animales.

pyrolyse

Décomposition chimique par l'action de la chaleur et en absence d'air d'une matière organique. Dans ce processus, il y a dégagement de gaz, de liquides, de goudron et de charbon qui peuvent être utilisés comme combustibles.

tourbe

Susbtance organique combustible qui résulte de la décomposition de végétaux morts en milieu privé d'oxygène ou d'air. La formation de la tourbe est un processus très lent et sa haute teneur en eau exige qu'elle soit extraite au préalable.

La tourbe, toujours formée à la surface de la terre est faite de plusieurs couches : la première étant constituée d'une végétation vivante, la deuxième est une tourbe très jeune laissant apparaître les premières formes de végétations mortes, et enfin, la troisième est faite de tourbe de plus en plus ancienne prenant un aspect spongieux et une couleur noire.

vecteur

Énergie intermédiaire entre deux modes d'énergie, commode pour le transport, le stockage, etc. Les carburants sont des vecteurs énergétiques.

Éolienne

aérogénérateur

Toute éolienne couplée à un générateur destinée à la production d'électricité.

aéromoteur (synonyme éolienne)

Machine éolienne formée par un axe de rotation qu'actionnent des pales, qui tire son énergie de celle du vent.

anémomètre

Appareil servant à mesurer la vitesse du vent.

centrifuge (force)

Force qui tend à éloigner du centre un corps soumis à un mouvement de rotation autour de ce centre.

éclipsage

Se dit de la vitesse du vent au-dessus de laquelle une éolienne est arrêtée par mesure de sécurité.

effect de portance

Pour les éoliennes, c'est la force engendrée par le vent, qui lui est perpendiculaire et fera tourner les pales autour de leur axe de rotation.

Ainsi, la force de portance supporte une aile d'avion en vol, un deltaplane, etc.

portance
traînée
vent

effect de traînée

Au niveau des éoliennes, c'est la force engendrée par le vent, et qui est dans la même direction que celle du vent vue par la pale.

Par exemple, c'est la force qui propulse les voiliers par vents arrières.

traînée vent

énergie éolienne

D'un héritage grec où Éole fut le dieu des vents, l'énergie éolienne ou énergie cinétique du vent est le produit de la force du vent.

éolienne

Terme général de tout dispositif ou mécanisme muni de pales fixées à un axe servant à capter l'énergie du vent. Il existe deux classes principales d'éoliennes, celles à axe horizontal et celles à axe vertical.

éoliennes à axe horizontal

Éoliennes constituées de pales qui tournent autour d'un axe horizontal, comme l'hélice d'un avion. Par exemple, les moulins à vent hollandais.

éoliennes à axe vertical

Éoliennes constituées de pales tournant autour d'un axe vertical, comme l'éolienne des Îles-de-la-Madeleine en forme de batteur à oeufs.

hélice

Rotor (partie tournante d'une machine) ou mécanisme constitué par un ensemble de pales attachées à un axe central. Selon le nombre de pales de l'hélice, celle-ci est dite : monopale (1 pale) bipage (2 pales) tripale (3 pales) quadripale (4 pales) et multipale (nombre de pales supérieur à 4).

frein aérodynamique (ou aérofrein)

Mécanisme automatique ou commandé ayant la forme d'un volet mobile qui se déploie pour augmenter le traînée et réduire ou limiter la vitesse de rotation lorsque le vent atteint une intensité trop considérable.

génératrice (d'électricité)

Appareil transformant l'énergie de rotation d'une turbine (roue à eau ou à air) en énergie électrique. La génératrice suit le mouvement des hélices, roues hydrauliques, etc. et elle est conçue pour une puissance d'usage en continu appelée puissance nominale.

grandes éoliennes

Ce sont des éoliennes dont la puissance est de quelques mégawatts.

hauban

Câble servant à renforcer la résistance du pylône pour maintenir une éolienne en position verticale contre la poussée du vent.

pale

Aile tournante étant l'élément moteur de la pluplart des éoliennes et où l'effet de portance produit un mouvement de rotation.

petites éoliennes

Ce sont des éoliennes dont la puissance est de quelques kilowatts ou dizaines de kilowatts.

puissance éolienne

Puissance véhicule par le vent qui ne peut toutefois être entièrement récupérés par un aéromoteur. En effet, la puissance maximale récupérable est de 59%.

pylône

Construction ayant la forme générale d'une tour destinée à supporter un aéromoteur.

système autorégularisé

Tout système intégré aux éoliennes, permettant aux pales de tourner à une vitesse quasiment constante (appelée vitesse nominale) à partir d'une certaine vélacité du vent, dite vitesse de démarrage, et jusqu'à une vitesse maximale, dite vitesse de décrochage, d'éclipsage ou de destruction selon le choix adopté par le concepteur.

turbulences

Mouvements tourbillonnaires provoqués par des obstacles tels que arbres, des habitations, des collines, etc. où on a des vents de toute intensité et de toute diection, changeant rapidement.

vitesse de démarrage (synonyme vitesse d'amorçage)

Vitesse du vent à partir de laquelle les pales d'une éolienne commencent à tourner. Ainsi, les pales se mettent en mouvement, actionnant la génératrice.

vitesse nominale

Vitesse du vent à laquelle un appareil (une éolienne par exemple) fournit sa puissance nominale c'est-à-dire une puissance en continu qui peut être absorbée par l'équipement producteur d'énergie.

Géothermie

énergie géothermique

Énergie calorifique dans la croûte terrestre par la présence de roches et/ou d'eau chaude. Les geysers en sont une manifestation.

gradient géothermique (synonyme degré géothermique)

Taux de variation de la température entre deux niveaux de l'écorce terrestre.

Hydraulique

grandes hydrauliques

Aménagements hydro-électriques classiques dont la puissance est supérieure à quelques centaines de mégawatts.

petites hydrauliques

Aménagements hydro-électriques que l'on discerne par la **micro-hydraulique** d'une puissance inférieure à 100 kilowatts, la **mini-hydaulique** d'une capacité se situant entre 100 et 1 000 kilowatts et l'**hydraulique** à échelle réduite dont la capacité varie entre 1 000 et 15 000 kilowatts.

énergie hydraulique

4Énergie fournie par les chutes d'eau, les courants, les marées.

turbine hydraulique

Machine munie d'une roue hydrodynamique (mécanique portant sur l'écoulement d'un liquide) qui convertit l'énergie d'une chute d'eau, souvent en vue de produire de l'électricité.

Marémotrice

énergie des vagues

Énergie contenue dans le mouvement berçant des vagues.

énergie marémotrice

Énergie qui provient du mouvement oscillatoire des eaux de la mer daont le niveau monte et descend alternativement dans un même lieu, effet provoqué par l'attraction de la lune essentiellement.

énergie thermique des mers

Énergie que l'on peut produire à partir de la chaleur accumulée près de la surface des océans par l'action du rayonnement solaire. Celui-ci réchauffe les couches superficielles tandis que les couches profondes sont toujours à l même températures, près de 0° C.

Nucléaire

énergie nucléaire

Énergie produite et libérée par un chngement dans le noyau des atomes. Soit par la division d'un noyau d'un atome lourd en noyaux plus légers (fission) ou la combinaison de 2 noyaux d'atomes légers en un noyau plus lourd (fusion).

fission nucléaire

La fission nucléaire provoque la cassure du noyau, donnant ainsi plusieurs noyaux plus petits, avec libération d'énergie. Les réactions de fission nucléaire sont la base de toute l'énergie actuellement produite par les centrales nucléaires.

fusion

Réaction dans laquelle deux noyaux d'atomes légers se combinent pour former un seul noyau plus lourd, avec libération d'énergie.

Solaire

absorbeur

Plaque, généralement de couleur noire, qui absorbe les rayons solaires et destinée à les transformer en énergie calorifique.

caloporteur (ou fluide caloporteur)

Le fluide caloporteur est habituellement de l'eau ou de l'air. Il prélève la chaleur de l'absorbeur (plaque noire qui absorbe les rayons solaires et les transforme en énergie calorifique) et l'évacue ensuite vers le stockage ou vers le lieu d'utilisation du système de chauffage.

capteur à concentration

Appareil de forme parabolique qui concentre le rayonnement tiré d'une large surface réceptrice et le projette sur une cible de faibles dimensions. On obtient ainsi de très hautes températures dans une zone déterminée. Ce type de capteur est moins courant que le capteur plan mais il permet toutefois de répondre à certains clientèles, les industriels par exemple.

capteur plan

Appareil qui convertit les rayons solaires en chaleur, par l'intermédiaire de l'absorbeur, et qui est piégée à l'intérieur du dispositif grâce à l'effet de serre.

capteurs solaires

Appareils utilisés pour canaliser les rayons solaires et convertir l'énergie de ces rayons en une autre forme d'énergie.

capteur thermosiphon

Appareil du type capteur plan, qui utilise cependant l'effet thermosiphon pour évacuer les calories captées par l'absorbeur. Le fluide caloporteur fonctionne selon le principe suivant: le fluide chaud, plus léger, s'élève et le fluide froid, plus lourd ou dense, descend. Le fluide chauffé sort à la

partie haute du capteur et circule dans un système de stockage, y transfert sa chaleur en se refroidissant et redescend dans la partie basse du capteur pour se réchauffer à nouveau et le cycle recommence.

effet de serre

L'effet de serre est un principe de base des systèmes solaires : tout corps, objet, matériau, exposé au soleil, absorbe ses rayons visibles et les transforme en chaleur (sous forme de rayons infrarouges). La chaleur reste emprisonnée derrière les vitrages, ceux-ci ayant la propriété de laisser passer les rayons solaires mais d'arrêter dans l'autre sens les infrarouges.

effet photovoltaïque

Effet par lequel les rayons lumineux tombant sur certains corps semi-conducteurs produisent de l'électricité. Il est à la base du fonctionnement des photopiles.

effet thermosiphon

Effet produisant une circulation naturelle d'un fluide qui, lorsqu'il se réchauffe, a tendance à monter puis à redescendre une fois refroidi.

énergie solaire

Énergie contenue dans le rayonnement ou la lumière du soleil, ce qui constitue sa forme primaire. Sous cette forme, l'énergie solaire est disponible en tout point de la sphère terrestre au total 6 mois par année avec une intensité dépendante de la géographie et de la météorologie d'une région. Transformée par divers processus, elle se manifeste sous des formes indirectes : vent, énergies hydrauliques et de la mer, énergie de la biomasse.

maison solaire

Maison conçue pour que l'énergie solaire fournisse une partie des besoins en chauffage/ou climatisation.

mur Trombe

Mur vertical, de couleur sombre, exposé au rayonnement solaire et recouvert d'une vitre légèrement espacée du mur. Il sert à absorber et à stocker l'énergie solaire. Le mur Trombe est un dispositif destiné au système solaire passif et est généralement fait de maçonnerie.

photopiles

Capteurs solaires qui ont la propriété de convertir les rayons visibles du soleil directement en électricité par l'effet photovoltaïque.

rayonnement diffus

Rayonnement solaire qui, après avoir traversé des couches nuageuses, parvient au sol sous différentes direction.

rayonnement direct

Rayonnement solaire qui parvient à la terre et au sol dans la direction du soleil c'est-à-dire directement du soleil.

rayonnement solaire

À 5 900° C, le soleil émet un rayonnement qui se décompose en une partie visible (42% de l'énergie) et une partie située dans l'infrarouge, uniquement calorifique (55%), le reste constitué de rayons ultraviolets (3%).

serre

Construction vitrée qui capte, stocke, distribue la chaleur du soleil. Elle peut être un prolongement de la façade sud ou faire partie intégrante de l'habitation et devient alors un solarium.

stockage

Accumulation d'énergie dans un système en vue d'adapter l'offre à la demande énergétique. Les matériaux couramment utilisés sont les bouteilles à eau, les galets, les briques, le béton et la maçonnerie.

système solaire actif

Ensemble ou système constitué d'éléments mécanisés autonomes et indépendants de la structure architecturale. Les éléments sont ordinairement un capteur solaire, des conduites pour transporter la chaleur des capteurs aux sites d'utilisation ou de stockage, un réservoir de stockage et des mécanismes pous assurer la circulation du fluide caloporteur et contrôler l'ensemble.

système solaire passif

Ensemble ou système constitué d'éléments à vocations multiples intégrés ou faisant partie de la structure architecturale. Ce système peut faire recours également à des éléments mécanisés (volets mobiles, ventilateur, etc.).

Sous sa forme la plus simple, l'énergie solaire passive est transmise par des fenêtres exposées au midi. La chaleur est alors absorbée par les murs et les planchers de l'intérieur, ce qui réchauffe considérablement le bâtiment et réduit la facture du chauffage conventionnel sans l'éliminer complètement. D'ailleurs, tous les bâtiments pourvus de fenêtres sont, dans une certaine mesure, chauffés à l'énergie solaire passive. De fait, la plupart des maisons et appartements demanderaient de 10 à 15% de plus de mazout, gaz ou électricité si le rayonnement solaire ne traversait pas déjà les fenêtres.

vitrage

Élément d'un capteur solaire (actif ou passif) formé d'une plaque (de verre, de plastique, etc.) transparente au rayonnement visible (rayons solaires lumineux) mais opaque au rayonnement infrarouge.

Thermique

COP

Coefficient de performance d'une pompe à chaleur définissant son efficacité. Il est le rapport entre l'énergie transférée (du milieu froid au milieu chaud) et l'énergie consommée pour opérer la pompe à chaleur et varie en fonction de la température extérieure.

$$\frac{\text{Énergie transférée}}{\text{Énergie consommée}} = \text{COP}$$

Aussi, plus le COP (coefficient de performance) est élevé, plus la pompe à chaleur est efficace.

On définit un deuxième terme appelé coefficient d'efficacité saisonnière (CES) qui est l'efficacité moyenne de la pompe à chaleur pour la période de chauffage annuelle.

échangeur de chaleur (synonyme échangeur thermique)

Dispositif permettant de transférer la chaleur d'un fluide à un autre et dont circulations des fluides sont physiquement séparées.

énergie thermique

Énergie calorifique ou chaleur résultant du mouvement des atomes et des molécules à l'intérieur d'un corps. La production d'énergie a partir de la chaleur est d'ailleurs basée sur l'existence du gradient thermique (différence de température entre une source chaude et une source froide). Tout objet au-dessus de la température - 273° C a une énergie thermique.

fréon

Nom générique pour désigner les fluides frigorigènes utilisés entre autres dans une pompe à chaleur pour transférer l'énergie thermique d'une source à une autre (source froide à source chaude).

gradient thermique

Taux de variation de la température dans un milieu solide, liquide ou gazeux. Par extension, différence de température s'établissant entre une source chaude et une source froide.

nappe phréatique

Nappe d'eau située à l'intérieur du sol proche toutefois de la surface (jusqu'à 30 m. environ), utilisable dans certains cas pour le stockage intersaisonnier de l'énergie solaire.

pompe à chaleur

Appareil thermodynamique qui permet d'obtenir une quantité d'énergie calorifique en puisant dans un milieu froid de la chaleur qu'elle rejette dans un milieu chaud. Par exemple, la pompe à chaleur la plus répandue est le réfrigérateur qui extrait la chaleur de l'endroit ou se trouvent les aliments pour la rejeter dans la maison.

POOR

QUALITY

ORIGINAL